







PTB.P



ENCYCLOPÉDIE-RORET.

STATIQUE

ET

HYDROSTATIQUE,

Par A. D. VERGNAUD.

[illegible]

AVIS

Le mérite des ouvrages de l'Encyclopédie-Roret [illegible] valu les honneurs de la [illegible] de l'imitation et [illegible] contrefaçon. Pour distinguer ce volume, il portera [illegible], la véritable signature de l'éditeur.

MANUELS-RORET.

NOUVEAU MANUEL
DE
MÉCANIQUE
APPLIQUÉE A L'INDUSTRIE.

PREMIÈRE PARTIE.

STATIQUE ET HYDROSTATIQUE
D'APRÈS MOSELEY.

PAR A. D. Vergnaud,

Ancien Élève de l'école polytechnique, Capitaine d'artillerie,
Membre de la Légion-d'Honneur.

Ouvrage orné de figures.

PARIS,
A LA LIBRAIRIE ENCYCLOPÉDIQUE DE RORET,
RUE HAUTEFEUILLE, N° 10 BIS.
1838.

PRÉFACE.

Le volume de mécanique théorique par M. Terquem donnant à ceux qui veulent approfondir la partie mathematique de la science toutes les explications désirables, j'y renvoie le lecteur afin d'éviter des répétitions et une discussion fastidieuse.

Ici l'auteur a voulu surtout se faire comprendre des industriels ; ce volume contient la statique et l'hydrostatique, c'est-à-dire toute la théorie de *l'équilibre*. C'est un ouvrage à l'usage de ceux qui ne savent pas les mathématiques, ou qui goûtent peu la sécheresse d'une lecture purement mathématique. Les *principes* théoriques de la statique sont établis dans les trois premiers chapitres; les autres chapitres renferment quelque chose de plus que la simple application pratique de ces principes.

Malheureusement il est impossible de distribuer un ouvrage de science de manière à ce que les commencemens en soient ce qu'il y a de plus aisé, et les trois premiers chapitres paraîtront peut-être au lecteur plus difficiles que tout le reste de l'ouvrage. Cependant une parfaite connaissance des principes élémentaires que renferment ces trois chapitres est une introduction *nécessaire* à toute partie pratique de la science de la mécanique.

La considération du *poids* entre dans toute question pratique d'équilibre, car la masse tenue en équilibre, quelles que soient d'ailleurs les forces appliquées, est nécessairement soumise à l'action de la force de gravité.

Le premier chapitre de cet ouvrage traite donc de l'in-

fluence du poids agissant *sur* chaque portion de la mas
d'un corps, dans les conditions de son équilibre, et des pr
priétés de son centre de gravité par lequel on peut suppo
ser qu'agit un poids quelconque dans toutes les positions d
corps.

Il n'y a guère de cas d'équilibre où l'on ne doive compte
parmi les forces composantes, deux ou plusieurs résistanc
des surfaces du corps en contact. La question de ces rési
tances forme le sujet du cinquième chapitre, qui s'y trou
traité d'une manière entièrement *neuve*.

On y fait voir que la force appliquée à la surface d'
corps par l'intervention de la surface d'un autre corps,
détruite, quelque grande qu'elle soit, pourvu que sa dire
tion s'établisse *en dedans* d'un certain cône droit, ayant s
sommet au point de contact, et son axe perpendiculaire a
surfaces qui s'y touchent ; mais que cette force *n'est pas* d
truite, quelque petite qu'elle soit, pourvu que sa directi
s'établisse *en dehors* de ce cône.

C'est à l'aide de cette propriété qu'on peut tenir compte
frottement, comme on l'appelle d'ordinaire ; — mais le frott
ment n'est, en réalité, pas autre chose que la différence ent
la résistance d'une surface telle que la nature la présente da
une direction quelconque, et la résistance *hypothétique* suiva
une direction normale seulement ; hypothèse introduite da
l'enfance de la statique pour en faciliter les premiers coro
laires, et que l'on a conservée fort étrangement comme
principe d'équilibre.

La nature et les propriétés des forces, d'où résulte ord
nairement l'équilibre des corps matériels, étant établies,
huit chapitres suivans en offrent l'application au plan i
cliné, au coin, au levier, à la roue avec son essieu, à
vis avec son écrou, et à la poulie, que l'on désigne sous
nom [illegible] machines.

Les quatorzième et quinzième chapitres comprennent la
:orie de l'équilibre des systèmes de forme variable. On y
t voir que les conditions d'équilibre d'un système rigide
nt *nécessaires*, mais non pas *suffisantes* pour l'équilibre du
ìme système, quand il peut admettre une variation de
:me. On déduit de ce principe certaines conditions d'é-
uilibre des polygones, des chassis de tringles, cordes et
haînes; enfin l'équilibre des corps en contact, formant une
rche.

Le seizième chapitre renferme la discussion de la théorie
lu docteur Young sur la force des matériaux, avec une table
les mesures d'élasticité et d'extension.

On trouvera, dans le dix-huitième chapitre, la célèbre
lémonstration du principe des forces virtuelles, par La-
;range, mise à la portée de l'intelligence de tous les lec-
eurs.

Le dix-neuvième chapitre comprend la théorie des résis-
ances et une démonstration du nouveau principe de der-
iière résistance, ce qui complète les théories de la statique.

La théorie de l'hydrostatique, ou l'équilibre des corps
uides, offre en dernier lieu l'équilibre d'un système de
rce variable. Chaque portion d'une telle masse fluide en
quilibre est sujette aux mêmes conditions que si elle était
lide, et en outre à celles qui résultent de sa fluidité. C'est
ır ce principe que repose toute la théorie de l'hydrostatique,
ont le premier chapitre renferme la discussion du principe
e la distribution égale de la pression fluide; dans le second
: trouvent les conditions de l'équilibre d'un fluide pesant;
ans le troisième, la pression oblique d'un fluide pesant,
s formes des chaussées, le centre de pression, etc.

Le quatrième chapitre traite de l'équilibre des corps flot-
tans; le cinquième, de la pesanteur spécifique et des instru-
mens en usage pour la déterminer.

Le dernier chapitre traite de la science pneuma de l'équilibre des fluides élastiques, avec les instrum drauliques qui en dépendent.

On a d'ailleurs essayé partout d'appliquer les p exacts de la science à des questions d'application dans les arts, et d'en mettre la discussion à la p la classe intelligente et utile des ouvriers et des turiers.

—

TABLE
PAR ORDRE DE MATIÈRES.

HYDROSTATIQUE.

TABLE DES MATIÈRES.

PNEUMATIQUE.

APPENDICE.

INTRODUCTION

A L'ÉTUDE DES SCIENCES PHYSIQUES.

Il est essentiel au développement de l'énergie des princi- de l'intelligence qui repose en nous, qu'une communi- on s'établisse entre cette intelligence et les existences térielles extérieures. L'esprit ou l'âme immortelle est, s notre état habituel, tellement dépendante de ses liens tériels, qu'elle serait incapable de manifester sa puissance, lle n'était d'abord exercée, et en quelque sorte discipli- par cette communication. Sans *données* aucunes, il n'y ait *aucune* raison; aucune mémoire, s'il n'y avait rien à ir; aucune imagination, s'il n'y avait aucune réalité. omme doué de tous les attributs de l'humanité pour- e posséder aucune de ses énergies. Sa forme pourrai r tous les élémens de pouvoir et de beauté; le sang vi- y pourrait circuler; l'âme y pourrait occuper sa place elle; les sens, ses ministres, pourraient se trouver ran- tour d'elle, prêts à exécuter ses ordres; mais s'il n'y t pas d'objets extérieurs pour occuper ces sens, ou bien le principe sensitif restait soit dans l'inaction, soit dans apacité de fonctionner, alors le tout ne présenterait que nblême d'un repos semblable à la mort, d'un sommeil per- uel et sans rêve.

L'homme est pourvu, par ses organes des sens, de moyens e application illimitée et de l'adresse la plus exquise pour blir toute espèce de communication entre son intelligence les objets extérieurs.

La main, par exemple, est capable d'un mouvement soi- en un point quelconque; elle peut varier la quantité la direction de ce mouvement ainsi que celles de sa pres- n de toutes les manières possibles; l'habitude apprend à urer ce pouvoir et cette direction, ainsi qu'à s'en rendre pte dans ses moindres détails. L'adresse manuelle ac- ise par les peintres, les sculpteurs, et les ouvriers en to

genres, n'est rien autre chose que l'application de la con-
naissance des effets des différens développemens de la for
du mécanisme de la main soigneusement mesurée dans
plus petites phases, tant pour la quantité que pour la dire
tion et conservée dans la mémoire avec tous ses résultats
est au-delà du pouvoir de l'imagination de concevoir la va
riété et la complexité de ses opérations. L'une des plus sim-
ples est celle d'écrire; pourtant dans la formation de chaque
caractère tracé, il y a certain développement délicat de
force, variant de quantité et de direction, dont la main p
la quantité, mesure la direction, dont la mémoire se s
vient, et qu'on peut reproduire même sans l'aide des yeu

La main sert de plus, comme une éprouvette, pour mes
rer les degrés de dureté ou de mollesse des corps, et le p
de leur surface; comme une balance, pour comparer l
poids; comme un thermomètre, pour indiquer leur temp
rature.

L'oreille apprécie les mouvemens des plus faibles mo
cules de cette forme de matière (l'air), qui est l'une des p
subtiles; les vibrations régulières de l'atmosphère, qu
elles sont mues par diverses vitesses, et produisent de
distincts. L'œil note aussi les mouvemens des mol
plus délicates encore de la lumière, indiquant leurs di
relations en variétés de couleurs.

Quelle délicatesse doit avoir ce mécanisme qui nous
capables de mesurer la force des impulsions d'un corps
ger que l'on a peine à le concevoir, et si peu résistant
ne peut le saisir; ces impulsions d'atomes incompar
ment moindres que la particule la plus ténue de m
dont nous puissions reconnaître l'existence.

Exquis comme le sont les sens de l'ouïe et de la v
osera dire qu'il y ait rien de superflu dans leur o
tion?

Sans cette parfaite sympathie ainsi établie entre
ganes de sensation et les fluides subtils d'air et d
qui parcourent l'espace dans lequel nous existons
que nous voyons de forme distincte et tout ce que
tendons de sons modulés, eût été perdu pour nous.
mécanisme moins parfait de l'œil, peut-être au
avoir la perception de la lumière, mais nous
celle d'aucune des variétés de forme et de

l'apprécier les objets que nous regardons. Avec e moins parfait de l'oreille, peut-être aurions-as être tout-à-fait privés de l'ouïe, mais toute e variétés rapides et passagères du son articulé impossible, et nous n'eussions pu comprendre 'harmonie.

non-seulemant les moyens d'établir cette com-sentielle à tout ce qui constitue son active exis-l est irrésistiblement entraîné à faire usage de t à lier cette communication; car les circon-esquelles il se trouve placé le forcent nécessaire-r les connaissances qu'il a les moyens d'ac-

est constitué de manière à ne jamais éprouver atisfaction de la chose qu'il peut obtenir. Non-est doué de sens qui lui permettent de distin-faibles différences des objets extérieurs, mais erceptions qu'il obtient ainsi est accompagnée également délicate et variée de plaisir ou de lètement *sensitif*, il se trouve sans cesse pressé ins et sujet à des calamités que rien, dans le habite, ne s'offre de *soi-même* pour satisfaire urner ; jamais il n'est sans l'espoir de quelque sans la crainte de quelque souffrance.

ment *apparent* de l'homme est le grand élé-upériorité intellectuelle et physique, surtout en orce à acquérir ces *connaissances* dans lesquel-le secret de pourvoir à ses besoins.

a réparti le bien-être des animaux inférieurs es des besoins peu nombreux auxquels ils so rvoir d'eux-mêmes; elle a dès-lors borné erception des objets extérieurs à ceux qui leur ires pour satisfaire à leurs besoins ainsi limités. est une créature dont les désirs et les besoins *nes;* dès-lors sa force et son intelligence s'é-ant plus que ses besoins et ses désirs en exigent ment infini.

entraîné par de nouvelles sensations, qui s'en-une manière plus ou moins permanente dans sa devenant ainsi des élémens de conr ommer *un animal apprenant*, pour

guer de tous les autres animaux. N'eût-il po
tre avantage distinctif que celui d'organes
convenables que ceux de toute autre clas
porter son esprit aux perceptions nettes
monde matériel dans toutes ses modificatic
vives emotions de plaisir et de peine, avec c
tés de rechercher les unes et de fuir les au
situé, eût-il été placé, comme nous le tr
monde où rien n'eût suppléé sa main pou
ment de ses désirs? le désir et le chagrin
portés à la *connaissance* de quelque clas
matérielles servant à satisfaire ce désir ou
grin? n'y eût-il pas d'autres attributs plus
manité? il est presqu'impossible d'assigner
supériorité qu'il eût acquise rien qu'avec ce
chelle des êtres animés.

Là se montrent avec évidence la sagesse
même dans le besoin et la souffrance, o
l'homme et calculées de manière à le réc
désappointemens avec ce qu'il a plu au ciel
de lui — l'impatience des désirs qui ferm
sein, et son délaissement *apparent*, dans la
sont les élémens de ce qui constitue sa préém

Avec une puissance toujours créatrice pc
matérielles qui sont autour de lui ; — avec
le secret de l'emploi de ce pouvoir; — ave
veilleusement adaptés pour acquérir cette
et avec la nécessité qui le pousse à cette acqu
binons la faculté divine de *raison*, ce prin
tout, et nous trouverons que l'homme est u
dominer dans ce bas monde. « Tu l'as fait,
au-dessous des anges, et tu l'as couron
d'honneur; tu l'as fait pour commander à c
mains. »

Ainsi armé pour combattre le mal phy
reuse, combien est complet son triomphe
demeure dans laquelle, à l'abri des tempê
chaleur artificielle qui le rend à peine sen
des saisons. Il dépouille un animal de s
couvrir; il sacrifie la vie d'un autre anim
rir; il en emploie un troisième à porter

deux repos. Par son adresse il multiplie la variété des
its de la terre; ses bornes naturelles ne l'arrêtent pas,
irrégularités de sa surface s'aplanissent sous ses pas, et
attelle les vents à son char pour traverser les mers. Au-
ne distance n'éloigne les provisions de sa portée. Au point
est la civilisation, il est douteux qu'il se trouve un seul
ividu assez délaissé et assez malheureux pour que les cinq
rties du monde ne soient pas mises journellement à con-
bution pour fournir à ses besoins ou à son bien-être.

Quand sa propre force ne lui suffit pas pour atteindre les
ets de ses désirs, il s'empare des forces de la matière, et
sa leur énergie brutale il les emploie à suppléer à sa
blesse.

Il peut accumuler le poids ou l'attraction de la matière
rte autant qu'il le veut, et diriger ses opérations combi-
es sur un point quelconque; ce pouvoir inhérent aux
ides, il le transporte partout où il lui convient, il le dis-
mine dans l'espace et l'emploie à produire les plus petits
les plus grands effets; à chasser le moindre grain de
matière, comme à donner le mouvement aux plus vastes
anismes.

Il range également sous son empire cette force de répul-
n qui envahit la matière aussi généralement que l'attrac-
n, et que nous appelons chaleur. Il peut en priver les
stances minérales dont les atomes sont les limites; il
t l'accumuler dans d'autres dont les parties sont main-
nues par des forces incomparablement plus grandes que
les que nous pouvons apprécier, de manière à vaincre ces
rces et à désunir ces parties. Il peut, par exemple, l'intro-
re dans les pores du diamant, détruire le pouvoir de
ésion qui constitue la plus grande dureté des corps ma-
iels, et les réduire en gaz. Par sa combinaison avec les
ides, sous forme de vapeur, il peut accumuler et concen-
r cette répulsion tant qu'il le veut, en la transportant sur
oint qu'il lui convient de priver de son énergie.

Son autorité n'est pas moindre sur les puissances qu'il a
mises. A l'aide de machines il peut varier leur quantité
leur direction en tous sens; les concentrer pour produire
forces agissant sur le plus grand espace, comme les
sembler sur un point où elles agissent avec d'autant plus
ergie que l'espace est moindre. Il peut encore les éten-

dre de manière à ne produire qu'une faible action sur
grand espace. Cette même quantité de force qui, avec u
légèreté et une rapidité incroyables, forme la pointe d'u
aiguille, peut, sous une autre forme, soulever lentement
marteau d'une forge. Il peut, imitant les fluides, verser ce
force d'un corps dans un autre, y en accumuler des flots
précipiter leur énergie de manière à s'en débarrasser. Co
bien elle est puissante cette force agissant dans une gra
manufacture, où, partant d'un centre, elle coule dans
vastes canaux, se répand dans les plus minces conduits,
fournit à chaque ouvrier la source d'un pouvoir propo
tionné à ses besoins. Ce n'est pas d'ailleurs par sa natu
physique seule que l'homme se trouve à la tête de la créatio
Sa nature morale et religieuse lui donne un privilège ém
nent dans la communication qu'il lui est permis d'avoir av
le Très-Haut dans ses œuvres. Mais pendant que la co
naissance des vérités des sciences naturelles lui procure
moyens d'augmenter son bien-être temporel, l'étude aura
elle sur lui la pernicieuse influence de détourner ses rega
du bien-être éternel et des secrets d'immortalité qu'il
pourra jamais pénétrer? Non, certes, il n'en est pas ain
Les principes des sciences physiques, envisagés convenab
ment, le mènent à la croyance des vérités les plus imp
tantes de la *révélation*, et de la puissance infinie de Di
« car les attributs de la divinité, *invisibles* depuis la créat
du monde, lui sont révélés par tout ce que son pouvoir ét
nel seul a pu créer. »

Le raisonnement suivant est l'un de ceux par lesquels
peut arriver à cette grande vérité de la révélation.

C'est une opération précoce de l'esprit, quand il se tou
vers la considération de ses propres perceptions, de faire
distinction entre celles qui dérivent continuellement les *m*
mes des sens dirigés vers les mêmes objets, et celles qui s
momentanées de leur nature, ou du moins passagères.
premières se classent comme *propriétés* ou *qualités*; les
es comme *faits* ou *actions*. Il est quelques-uns de
actes, parmi les perceptions primitives de chac
t soumis à son propre vouloir, en sorte qu'il
i de produire ou non leur existence. Il se dési
ant ainsi une *cause*, et il nomme *effet* la ch
Ensuite, parmi les faits ou actes eux-mêm

squels il établit alors un rapport de cause, il trace une
ance semblable, en sorte qu'un fait se lie à un autre
'autres par des rapports essentiels à son existence.
ports nécessaires se nomment encore *cause* et *effet*, et
 différence, c'est que l'une est volontaire, et l'autre
séquence nécessaire.
onne le nom d'*effets* à cette classe de faits qui sont
ns ; et celui de *causes* à ceux dont ils dépendent.
les actes dont l'homme est lui-même la cause immé-
eviennent à leur tour les causes d'autres actes, ces der-
nt dits établis en rapport des causes *secondaires*, et lui-
rovient d'une cause *première*. Les causes secondaires,
our, en produisent d'autres, et ainsi de suite; ce qui
e tout en rapport avec la cause première.
nons maintenant des faits qui sont ainsi liés avec la
volonté, à ceux qui en sont indépendans ; une sem-
érie s'établit. C'est une chaîne perpétuelle de cause
st visible dans toute la nature. Quelque part que l'on
on investigation, on trouve des causes qui ne sont que
s d'autres causes qui s'y rattachent par une chaîne
elle. Est-il donc étrange que, pour compléter l'ana-
'homme cherche à remonter à une *cause première*?
emière à laquelle se rattache la série des conséquen-
même qu'il établit celle qu'il a créée par sa propre

que la recherche d'une cause première parmi les êtres
xistence lui est connue par l'intermédiaire des sen-
soit vaine, cependant, en remontant la chaîne des
il a une distincte conviction de se rapprocher de la
remière. Le nombre des faits qu'il voit établis en
de causes avec le reste, diminue continuellement jus-
qu'enfin il arrive à certains d'entr'eux, au-delà des-
s sens refusent à le porter ; et ceux-là lui semblent
les premiers ou dérivent le plus immédiatement de la
remière. On peut les classer sous les noms de *temps*,
matière et *force*. La considération de ces faits, dans
eurs relations, et à travers toute la série des effets qui
it de leur combinaison, constitue les SCIENCES NA-
LES OU PHYSIQUES.
ience de la *mécanique*, qui peut-être les comprend
a été limitée à ces principes généraux qui régissent

les opérations de force, en combinaison avec la m
quelle que soit la nature de cette force. Les sciences na
les comprennent en outre l'investigation et la discussic
forces elles-mêmes, de leur nature et de leurs pro]
distinctives.

Le temps et l'espace sont, de leur nature, *un* et in
ble. Nous ne pouvons concevoir aucune séparation de
parties, telle que, dans leur intervalle, il n'y ait *ni* tem
espace. L'esprit les admet promptement comme des
premiers et des causes secondaires. Il y a de nombreus
riétés déjà connues de matière et de force; mais il pe
rester d'autres à découvrir.

Il est impossible de ranger, avec confiance, toutes c
riétés dans la classe des effets premiers. Le nombre de
tences que l'on croyait d'abord établies en rapport im
avec la cause première, a continuellement diminué à r
que la science a avancé ; les savans ayant, dans c
siècle, contribué à établir une dépendance entre les
ses que le siècle précédent regardait comme secondai
indépendantes.

Ainsi tout conduit à cette conclusion, que le nomb
des existences secondaires est excessivement petit.

Ne peut-on regarder cela comme semblable au mode
pérer d'un *seul* agent? Pourquoi cette apparente éco
dans l'énergie créatrice? Pourquoi ces traces de sim
d'effort? N'est-ce pas précisément ainsi que nous v
s'exercer notre propre énergie autant qu'elle peut s'ét
dans la petite sphère d'opération qui lui est allouée?
posant que notre sagesse soit *limitée*, tandis que nos
naissances et notre pouvoir deviennent *infinis*, notre n
ne changeant d'ailleurs à aucun autre égard, ne cherche
nous pas à économiser nos efforts, en vertu de cette
nature qui nous pousse sans cesse maintenant à une se
ble économie?

Ne sommes-nous pas alors conduits à cette concl
que ce petit nombre d'existences primaires, douées
pouvoir de reproduction infinie, sortent des mains d'un
avec qui notre propre nature, quoiqu'elle en soit infin
loin, a quelques traits distincts de ressemblance? La
'indique ici la raison est confirmée par la révél

:u a fait l'homme à son image; c'est à l'image de Dieu l'a créé. » -

considérant les rapports de temps, d'espace, de ma- st de force, une des premières choses qui nous frap- c'est l'uniformité de ces rapports; et elle est telle que me cause, dans les mêmes circonstances, produit u- le même effet. Cette uniformité constitue une LOI; et e rapport particulier de cause et d'effet, ainsi uni- , est une LOI DE NATURE. Il est évident que l'étude iences naturelles est uniquement celle de ces lois; on es définir comme ayant pour objet *de tracer la chaîne uses et des effets dans les choses naturelles*, et *de déter-* les lois de leurs rapports.

y a différens ordres de *lois* naturelles, comme il y a ns ordres de *causes*. Les lois primitives, ou principes, placées avec les causes premières, *au-delà* de notre e de sensation. Le mot principe n'est d'ailleurs que *re-*; chaque *cause* étant désignée comme un principe par rt aux causes qui en dérivent suivant la chaîne des con- nces.

ant aux actions qui sont les sujets immédiats de notre té, chacun s'aperçoit qu'il a le pouvoir de les modifier les varier à la fois, avec la conséquence de cause et t qui dérive de chacune à chaque degré compréhensible, 'il a aussi le pouvoir d'ajuster cet effort, comme cause ière, de manière à produire un certain effet éloigné, plus ni moins que cet effet. On nomme *dessein* cette in- n d'adapter à une cause première toutes les causes se- ires.

est le pouvoir de *dessein*, ou *l'imagination*, qui dis- e le rapport de cause et d'effet, dans les êtres animés et gens. Partout où nous voyons tracé ce rapport de cause effet, résultant d'un dessein conçu, nous en pouvons ure l'existence et l'opération d'un être intelligent.

aintenant ce dessein est MANIFESTE dans toute la na- . Chaque brin d'herbe, chaque bourgeon, chaque feuille, e fleur que le vent répand autour de nous, chacun de êtres organisés et qui fourmillent partout, montre un ein dans l'opération de cette cause première à laquelle il son existence; c'est ainsi que tout proclame l'existence créateur vivant et intelligent.

Cet argument du dessein est devenu familie[r au] monde par l'ouvrage admirable de *Paby*; il e[x]plique.

Si l'homme revient de la contemplation des [œuvres de] Dieu dans l'univers, à la considération de son p[ou]voir, il s'aperçoit qu'il peut le rendre applicable à [la produc]tion de certains effets éloignés, et même qu'il pe[ut l'appliquer] à d'autres pouvoirs *extérieurs*, sur l'action desqu[els il n'agit] pas directement, en les rendant applicables à la [matière]. Mais il ne peut en rien modifier ces pouvoirs, c[ar il lui est] impossible, — le mode ou la loi de leur action é[tant fixé] par la volonté de la grande cause première; — s[eulement il] peut les *appliquer*. Ainsi il peut s'emparer de [la force de] gravitation, ou du poids d'une pierre, pour pr[oduire une] pression ou impact; l'action de la *pierre* est la [même] dans le premier cas, l'impulsion de gravitation [communi]que continuellement, est *continuellement* détru[ite, tandis] que dans le second l'énergie accumulée qui en r[ésulte est] détruite par le choc. L'homme a de plus le pouv[oir de ren]dre l'action de ces causes naturelles l'une à l'[autre; par] exemple, il peut placer la matière sous l'action d[e la chaleur], il peut l'assujettir à toutes les variétés d'influenc[es du temps] et de l'espace. Il peut conduire l'opération de [leurs combi]naisons l'une sur l'autre à tous les degrés poss[ibles].

S'il tourne maintenant ses regards vers le mond[e, il aper]çoit qu'il doit y avoir eu pour cette nature quel[que opéra]tion semblable à celle dont il se trouve capable. Tout ce qui existe maintenant, peut avoir exi[sté; chaque] particule de matière, de force, d'espace, occupée p[endant un] temps, sujette aux mêmes lois, si elle n'eût pas é[té modifiée] par l'opération ou l'influence d'une autre, fût res[tée dans le] même état de choses, et alors quel chaos au-delà [de la portée] même de notre imagination. Tout fut resté san[s forme], sans vide, plein d'élémens en désordre et exposé [à un chan]gement perpétuel.

Ici se retrouve la trace évidente de l'opération [de la cause] première, entraînant avec elle tout ce que nous [avons ap]pelé causes secondes, et appliquant leur action co[nformément] aux lois qu'elle leur avait d'abord imposées, [et suivant un] mode d'opérer auquel l'homme retrouve quelqu[e analogie]

lable dans son propre pouvoir, mais à un degré infini-
moindre.

y a encore une autre preuve de l'existence de la divi-
strictement tirée de considérations scientifiques et fon-
ur les vrais principes de la science, si frappante et
alement si peu connue qu'elle ne peut se trouver dépla-
ɜi, quoiqu'il faille prier le lecteur de redoubler d'at-
n pour saisir un argument qui n'est pas sans diffi-
s.

force, considérée comme un *principe* ou *cause* de mou-
nt, réside *en permanence* dans chaque particule de ma-
animée ou non, sujette à une loi invariable et CON-
MENT en action. Dans les êtres *animés* il y a de plus
ortion de cette force soumise à la direction implicite
volonté; *active* dans un temps, *inerte* dans un autre.
itenant les effets de ce principe de force, en communi-
t le mouvement à des corps capables de se mouvoir li-
ent dans l'espace, *diffèrent*, suivant que la cause de
action est *constante* ou *intermittente*. Dans les deux cas,
tesse communiquée par chaque impulsion est *gardée;*
dans l'un des cas les impulsions sont continuellement
tées, et la vitesse résultant de chacune est accumulée dans
rps se mouvant; tandis que dans l'autre cas, il n'est pas
ssaire que l'impulsion soit répétée, et la vitesse résul-
, s'il n'y a pas cette répétition, est uniforme. Si donc
pouvions tracer, dans la nature, l'existence d'un libre
vement *non accéléré*, nous serions sûrs qu'il ne peut être
ltė de l'opération d'aucune des forces *permanentes* agis-
sur la matière, et qu'il doit dériver d'un principe qui
plus apparent en elle, semblable à celui que nous trou-
ne résider que dans les êtres animés.

r ce mouvement *existe :* dans le système de l'univers,
voyons des mouvemens que la force *existante* de la *gra-*
ėst insuffisante à produire seule; nous trouvons des ef-
qui ne peuvent être que le résultat de l'opération d'un
cipe dont l'action a cessé; une force impulsive, sem-
lle à celle que nous sentons placée sous la direction de
e propre volonté. S'il n'y avait une autre cause en action,
planètes dirigeraient leur course vers le soleil, et toute

matière, à la longue, s'absorberait da
Il n'y a pas de force agissant *actuellem*
les planètes obliquement dans l'espace, ca
qui agisse *actuellement*, elle a dû agir de
dès-lors être une force permanente L'orl
de mouvement de chaque planète seraient a
ne sont, ainsi qu'on le peut démontrer
preuve qu'à quelque période prévue, il y a
tion d'un pouvoir impulsif, par lequel ell
dans l'espace suivant une direction autre c
déterminée l'attraction qui leur est inhérent
nons ainsi que les mondes ont été formés
Dieu, en sorte que les choses que nous
été faites des choses seules qui sont r
Heb. ii. 3. » On sait ainsi que lorsque l'
position dans l'espace, il a fallu qu'il y eût
pouvoir semblable à celui que nous trouv
dans les êtres animés et que nous appelo
donc « qu'il y eut une main qui forma le
prit qui commanda aux habitans dont elle

Non-seulement d'ailleurs les planètes to
soleil, mais encore autour d'elles-mêmes s
duisant ainsi les alternatives du jour et
axes sont inclinés suivant certains angles
plans de leurs révolutions, ce qui prod
saisons. Or pour effectuer tout cela, co
que tout cela l'est, il faut qu'une impul
été donnée avec une certaine force, dan
rection et en certain point de la surface c
Il y a donc eu dessein, et quand nous con
la nature animée est disposée pour ces a
mière et de chaleur ; — le brin d'herbe,
fleur et le fruit dans les végétaux ; le vêten
la plupart des animaux, avec l'énergie et
cipes de la vie ; — pouvons-nous hésiter à
sein, comme l'émanation d'une sagesse infi

On peut objecter que ce sont là des évi
tion d'une puissance créatrice, mais d'une
en conformité des lois de la force préexist
prouver l'existence de l'être dont elles ti

cience va nous fournir une réponse directe à cet argu-
t. Quoique le principe de la force nous soit caché avec
iystère que la nature n'apporte pas toujours dans ses au-
opérations, nous pouvons cependant apercevoir et distin-
une intention infinie dans les lois qui le régissent, et
ention est la preuve indubitable d'une sagesse créatrice.
n peut observer dans la nature l'étonnante économie de
rincipe de force. Les animaux, dans lesquels il se trouve
iis à la volonté, ont le sentiment ou l'instinct de cette
omie par la sensation de lassitude ou d'épuisement. La
sse infinie a mis, dans chaque particule de matière, cette
omie dirigée vers le même but. On trouve dans les ani
x de la classe inférieure, qui sont nécessairement faibles
ijets à l'erreur, des efforts perpétuels tendant à *cette*
omie, qui est parfaite dans les classes supérieures. Dans
ature inorganique, tout se fait avec la moindre action
ible; aucun développement de force, tant petit soit il,
se fait en pure perte.

a nature du principe dont nous voulons parler, sera
-être mieux comprise par l'exemple suivant. Si je désire
ter une colline ou la descendre, ou passer d'un point de
colline à une autre, avec le moindre emploi de force
culaire, ou la moindre dépense de force, une simple
idération me précisera le pas à faire, conformément à la
ie et aux pentes différentes de la colline; d'après la na-
de mon énergie musculaire, et d'après d'autres don-
, dont j'aurais peine à me rendre compte, et qui, si
m'étaient connues, seraient à peine suffisantes pour
ger mon intelligence vers une conclusion positive. Dans
a occurrence, les chances sont infiniment grandes cepen-
t pour que je prenne plutôt le mauvais chemin que le
i. Or maintenant si j'avais à lancer une pierre en haut de
olline, ou obliquement sur ses flancs, ou à la rouler en bas,
ls que soient les obstacles opposés à son mouvement,
ils proviennent de frottement, de résistance ou d'autres
ses, constantes ou accidentelles, toujours est-il que la
rre, quand elle sera abandonnée à elle-même, suivra tou-
rs la marche qui lui présentera la moindre dépense pos-
le de ses efforts; et si sa marche était tracée, ses efforts
ient toujours les moindres pour cette marche. Ce r
extraordinairement simple s'appelle celui de me

action; son existence et sa prépondérance universelle susceptibles d'une démonstration mathématique comp

Chaque particule de poussière soufflé dans l'air, particule de matière de cet air lui-même, ont leurs vemens soumis à ce principe. Chaque rayon de lumiè passe d'un milieu dans un autre, dévie de sa course ligne, pour choisir celle de la moindre action p et par une raison semblable, en traversant l'atmosph suit une courbe particulière jusqu'à l'œil. Les grand nètes aussi, qui tracent *toujours* leur circuit dans les mes de l'espace, que nous appelons notre système ; l mètes dont la course est tracée bien au-delà ; *tous* ce se meuvent de même, de manière à *économiser* les forc veloppées dans leurs cours.

Or, ces forces qui sont *non* développées par les vans, sont implantées dans les substances où elles ré par la main de Dieu, et soumises aux lois qu'il leur a sées dès le commencement. Il a plu au Tout-Puiss les œuvres de *ses* mains restassent d'accord avec ce pr de moindre effort qu'il a aussi implanté en *nous* com principe de notre nature et qui, suivant l'impulsion, veloppe toujours plus ou moins, dans nos faibles effort seule différence, c'est qu'en lui ce principe agit en mité de sa sagesse infinie, et qu'en conséquence, son tion est *parfaite*, tandis qu'en nous il ne se manifeste dans les bornes de nos connaissances et de notre faibl gement dont il partage les imperfections, dans son d pement.

Dans la disposition de ces efforts pour produire l'eff avec la moindre dépense de force, on reconnaît de que (suivant la grande vérité de la révélation) l'ho créé à l'image de Dieu et qu'il conserve sa ressembl principe de force inhérent à chaque particule d n'est qu'une émanation directe de la divinité, continuellement et à chaque instant. La scrupuleus de force, l'étonnante réserve qu'y a mise la natu certes à cette conclusion.

L'homme fut créé à l'image de Dieu, et l'on en possession d'un pouvoir presque absolu s existences matérielles qui l'entourent ; dans l'e intelligence dont aucun effort ne semble épuise

la manière dont il exerce ce pouvoir et cette
· on retrouve les traces de son origine céleste
ge suivant laquelle il fut créé.
ns ne suggèrent-elles pas en même temps le
condition morale? La description de son rang.
s la création, l'étendue de sa puissance phy-
ources de son intelligence, sa ressemblance,
ire physique, avec Dieu qui l'a créé, se pré-
orcément à l'esprit que la dégradation de sa
et sa chute qui l'a éloigné de cette parfaite
elle on peut raisonnablement conclure qu'il
rd créé pour ressembler aussi bien au physi-
al.
ici, dans les raisonnemens des sciences natu-
le vérité de la révélation.
ommes appesantis sur cette tendance directe
e l'étude des sciences naturelles, à raffermir la
rités premières et fondamentales de la révéla-
on lui attribue une tendance contraire.
une impiété de discuter les manifestations de
la bonté infinie dans les choses créées, autre-
les sentimens de reconnaissance et d'une pro-
envers le créateur, on pourrait dire que c'est
ou une folie. Il est impossible de s'occuper
nstruction complet, ayant pour objet de déve-
ports de la cause à l'effet dans ces portions de
oses naturelles qui tombe sous nos sens, sans
leur dépendance de la cause première qui est
être apprises correctement, les vérités des
lles doivent être apprises avec un retour di-
t vers la sagesse et la bonté de l'auteur de la
ides des sciences naturelles et de la théologie
nt qu'un si elles sont bien dirigées; et la
n'est qu'une adoration perpétuelle de Dieu
ment de son pouvoir. »
e nous étions suffisamment assurés de l'exis-
tributs de la divinité, par cette révélation qu'il
e faire d'elle-même dans son verbe; et que,
il n'en eût pas été ainsi, les preuves en sont
partout; qu'il n'y a pour cela besoin ni d'
nce. Mais hélas! quoiqu'il soit vrai que la ter

ment communiquées, c'est-à-dire par démonstration, recourir à des principes abstraits. Mais je dois pré que je ne puis offrir une connaissance quelconque de jet que je vais traiter, à celui qui n'est pas doué certaine dose d'aptitude intellectuelle, qui n'a pas un es esprit d'enquête, — une disposition à saisir ce à q s'applique, et quelque habileté à se rendre compte pensée.

Il n'y a aucune méthode d'enseignement profitable, san attention continuelle et constante de la part de l'élève ; au étude n'est *profonde,* si elle n'est dirigée par l'enchaîne des idées, et utile si l'on ne peut l'appliquer à la pra des arts. La science n'a affaire qu'avec *l'entendement* connaissance est faussement et ridiculement appelée *sc tifique* quand elle n'est qu'une *affaire de mémoire,* san cun autre appui ; elle n'est alors l'acquisition *d'au* science, et communément elle est la compagne d'une gr présomption à *tout savoir.*

C'est une connaissance superficielle qui n'a d'autre a tage que celui de permettre aux gens du monde de l'ex ter assez adroitement pour se faire ranger parmi le vans, sans avoir aucun droit à ce titre honorable, et en tirer vanité.

L'influence de l'étude des sciences physiques, consi comme l'une des branches de l'éducation générale, sur l ractère des élèves, est de leur inspirer un ardent amour vérité, quelque part qu'ils puissent la rencontrer ; un dési dent de la suivre partout, et un mépris insurmontable le sophisme et le paradoxe prétentieux. A force de s'appli constamment à la recherche de la vérité, on arrive à s'é dre d'un ardent amour pour tout ce qui est pensée Les efforts employés à cette recherche ne tardent pas à cevoir leur récompense ; on découvre la vérité, on se de sa beauté, on la regarde comme le diamant le plus cieux, et de suite on acquiert des idées correctes su moyens de développer, avec une perception intuitive qui peut être fondé ou ne l'être pas.

Quand une fois l'esprit naïf de la jeunesse est pénét ses propres ressources et de l'humilité qui toujours résultat de cette appréciation ; quand il a acquis cette h

le de la présomption et du mensonge, cet amour in-
ıble de la vérité, cette passion à la découvrir, et cette
e invariable à séparer le vrai du faux, ce que la science
ıque jamais de donner plus ou moins; comment un
ıomme marchera-t-il dorénavant dans les affaires de
Il manquera de cette promptitude d'esprit irréflé-
i souvent, il est vrai, reste la compagne d'une vive
ence, mais qui n'a d'autre utilité qu'un succès pas-
le société. La science ne peut donner l'esprit, mais il
ıucune des hautes et honorables affaires de la vie,
aquelle ne soit plus que préparée une intelligence
› par la discipline de l'étude.



STATIQUE.

CHAPITRE PREMIER.

---

n de la force. — 2. Sa direction. — 3. Son même en quelque point de sa direction qu'on l'ap- — 4. Equilibre de forces. — 5. Egalité de forces. Unité de force. — 10. Mesure de forces. — 14. tation de forces, en quantité et en direction, par s. — 17, 18. — Parallélogramme des forces. — s résultantes et composantes. — 20. Résolution ition de forces. — 21, 22. Equilibre de trois for- nt sur une masse solide. — 23. Applications du gramme des forces.

ce est ce qui tend à causer ou à détruire le mou-

ection d'une force est, dans ce qui tend à causer e le mouvement, au point où elle est appliquée. érience a montré que l'effet d'une force agissant rection donnée sur une masse solide, est le même *oint* qu'elle soit appliquée, pourvu que ce point direction de cette force.

g. 1), si des forces agissent suivant les directions p_2, P, p_3, sur une masse solide A B C, toutes roduiront le même effet, en quelque point des lignes p_2, P, p_3, ou de leurs prolongemens, qu'elles iquées. Par exemple, elles produiront le même elles étaient appliquées au point O, pourvu que nes se coupent au point O, comme dan

1 plusieurs forces appliquées à un corps

l'une par l'autre, la tendance qu'elles ont à lui co
la ment, et que ce corps reste ainsi en re
orces sont en équilibre.
nd un corps est maintenu en repos par
e ces forces sont égales l'une à l'autre
expérience a montré que *deux forces* ne pe
corps en repos, à moins qu'elles n'agisse
opposées et suivant une même ligne dr
u lieu d'appliquer les deux forces qu
ans des directions opposées, on les appl
ivant la *même* direction, la force qui do
dans une direction opposée pour soutenir
autres, est dite le double de chacune d'el
prend une troisième force, égale à l'une des deux
et qu'on les applique toutes trois dans la même
force qui doit être appliquée dans une directi
pour soutenir l'effort des trois autres, est dite
chacune d'elles, et ainsi de suite pour un nombre
de forces.

8. Ainsi, dès qu'on a fixé une force et qu'on s
de forces égales sont nécessaires, pour qu'appliq
rection opposée elles supportent l'effort d'une aut
arrive à concevoir la véritable expression de
force, par rapport à la première, et l'on peut le
avec une troisième force dont l'évaluation a été fa
port au même étalon.

9. La force simple, qui sert de terme de compa
l'évaluation de toute autre force, s'appelle une *un*

10. Les forces dont l'évaluation est exprimée
de quelque *unité connue* de force, sont dites *me*

11. Les unités de force dont on a trouvé le
nable de se servir, sont les poids de certaines por
tière, ou les forces suivant lesquelles ces poids
le centre de la terre.

Les quantités de matière dont ces poids se com
représenter des unités de force, sont différentes
pays.

12. En Angleterre, l'unité de force dont dérive

uppose ici que le corps n'est sollicité par aucu
t, à l'exception de ces deux-là.

poids de 22,815 *inches* (1) cubiques d'eau distillée, ap-
m *pound troy*. Il se divise en 5760 parties égales, dont
me est un *grain troy*, et 7000 de ces grains constituent
und avoir du pois.

. Quand on veut représenter la valeur d'une force, on
rime ordinairement par le nombre des unités qu'elle
nt, et les chiffres du nombre exprimé sont la désigna-
le chaque unité. Ainsi 15 *pounds avoir du pois* repré-
nt une force équivalente à quinze unités, chaque unité
un *pound avoir du pois*; c'est-à-dire chaque unité re-
ntant le poids d'une quantité d'eau distillée, trouvée en
nt 2285 (2) *inches* cubiques de cette eau en 5760 par-
égales, et prenant 7000 fois une de ces parties.

. On peut concevoir d'ailleurs un autre mode de repré-
r la valeur d'une force.

l'on prend (*fig.* 2) une ligne A B composée d'un
re quelconque de parties égales, et qu'on suppose que
me de ces parties représente une unité, alors la totalité
ligne offrira à l'esprit l'idée complète d'une force compo-
'autant d'unités qu'il y a de divisions égales dans la ligne.

il est évident que dans cette hypothèse, la longueur
lle de la ligne est immatérielle. Deux lignes A B et C D,
ifférentes longueurs, peuvent en effet représenter la
e force, les longueurs des parties P et P', qui repré-
nt les unités, étant différentes (3). Par exemple, P et P'
sentant chacun un *pound*, chaque ligne représentera
pounds.

Cet étalon est fixé par un acte du parlement, du 24 juin 1824.
mpérature de l'eau est supposée à 62° *fahrenheit* (16°, 67 cen-
es), le baromètre étant à 30 *inches* (76 centimètres).

pound troy équivaut à. . . . . 372 gram., 960
pound avoir du pois à. 453 25

Le lecteur est à même d'apprécier ici tout l'avantage du système
al des poids et mesures et de l'unité métrique. N. D. T.

Les lignes ou parties de lignes représentant des *unités* de force,
mment unités de longueur. Il est évident que si l'on prend la lon-
d'une ligne pour représenter une force, on trouvera l'unité de

15. Les *lignes* prises ainsi, pour représenter des for... *grandeur*, ont de plus l'avantage de les représenter en *direction*.

Si deux forces (*fig.* 3) agissent alors en un point... directions inclinées sous un certain angle, et que l'o... deux lignes AO, BO inclinées l'une à l'autre... même angle, alors en prenant une ligne D pour re... une unité de chaque force, et mesurant OP par le... de fois qu'il contient D, ou par le nombre d'unités... des forces; mesurant OQ par le nombre de fois qu'il con... tient D ou par le nombre d'unités qu'a l'autre... lignes PO et OQ représenteront complètement... ment les grandeurs relatives des forces, mais aussi... rections relatives. Le dessin en donnera une idée... si quand elles agissent vers O, on les suppose re... par PO et QO, tandis que OP et OQ les repré... agissant à partir de O. On dit alors que OP et OQ... sentent les deux forces en grandeur et en direction.

16. Il est évident que ces deux forces ne laisseront pas... le point auquel elles sont appliquées, car elles ne... égales l'une à l'autre, ou n'agissent pas suivant... ligne droite, en directions opposées (art. 6). Une... force est donc nécessaire pour l'équilibre. La gra... direction de cette troisième force se déterminent... nière suivante:

17. Par les extrémités P et Q (*fig.* 4) des li... et PO, tirez deux autres lignes QR et PR, l'une Q... rallèle à OP, et l'autre PR parallèle à OQ; ces... lignes formeront le parallélogramme POQR. Joi... deux angles opposés O et R par une ligne droite O... cette ligne OR, que l'on appelle la diagonale du pa... gramme, représente en grandeur et en direction la f... maintiendra les deux autres en repos. En d'autres... si l'on prend une force contenant un nombre d'unités... celui du nombre de fois que la ligne D est contenue...

longueur, en divisant la ligne en autant de parties égales que la... renferme d'unités de force; et réciproquement, si l'on part de l... de longueur, on trouvera la longueur de la ligne représentant... en répétant cette unité de longueur autant de fois qu'il y a... dans la force.

applique cette force au point O suivant la di-
cette force maintiendra le point en repos, et
bre avec les deux autres.

;marquable du *parallélogramme des forces*, qui
ıre de trois forces quelconques, de quelque na-
soient, peut se formuler ainsi : *Si trois forces
un point sont en équilibre, et qu'on mesure, à
oint, des lignes dans les directions des forces, de
que chaque ligne contienne autant d'unités de
il y a d'unités dans la force qu'elle représente,
es formeront les deux côtés adjacens et la dia-
rallélogramme.* On peut faire voir que c'est
nce nécessaire de quelques principes extrême-
et qui se démontrent d'eux-mêmes. Malheureu-
:ollaire ne peut se déduire que de connaissances
es spéciales et qui sortent du plan de cet ou-
z *l'appendice.*)

au reste, facile de s'assurer par expérience de
ette loi. La *fig.* 5 représente un cercle ou anneau
ntenu dans une position verticale sur son pied.
mobiles P_1, P_2, P_3, sont disposées de manière
fixer en un point quelconque de la circonférence
ı, en ayant leurs roues parallèles à sa surface (1).
$'_1$, W_2, W_3, sont suspendus à des cordelles de
sur ces poulies et nouées ensemble en un point
ıe étant abandonné à lui-même, prendra, au bout
temps, une position dans laquelle il restera en
; trois forces agissant en O, auront, dans cette
. directions nécessaires à leur équilibre.

ıt, si dans le vide intérieur de l'anneau, on dis-
ınchette de manière à ce qu'elle laisse parfaite-
le jeu des cordons, et que sur cette planchette
:ecouverte de papier blanc pour qu'on y puisse
·c de la craie ou une plume, on tire les lignes
, O P_3; qu'ensuite prenant une ligne D pour
;gueur, on la porte au compas autant de fois sur
$'_1$ à partir de O, qu'il y a d'unités dans le poids

ıes doivent être faites avec soin pour éviter le frotte-
ıt fixé à la poulie.

W_1; qu'enfin on complète le parallélogramme O P
des lignes menées sur la planchette parallèlement,
à O Q et O P respectivement; on trouvera que
longueur P sera contenue autant de fois dans la diag
qu'il y a d'unités de poids dans W_3, et que cette
est en ligne droite avec O P_3. Or les lignes O P et
présentent, en grandeur et en direction, les forces
en O, et elles y sont tenues en repos par W_3 agissan
direction O P_3, qui peut donc être représenté pa
grandeur et en direction. Cela a lieu, quels que
poids W_1, W_2, W_3, ou la position des poulies P_1,
donc la vérité de la proposition est évidente (1).

19. Si l'on applique en O, au lieu des forces O P et
force représentée en grandeur par la ligne O R e
suivant cette ligne de O en R, il est clair que ce poi
en repos, les forces qui lui sont appliquées étant
opposées. L'effet résultant de l'action d'une seule fo

(1) Parmi les appareils du cabinet de physique du collég
un parallélogramme O P Q R [*fig.* 6], formé par des règles
divisées en *inches* et en dixièmes. Elles s'assemblent par
mobiles aux angles, et chacun des joints P et Q est disposé
à glisser le long de chacun des côtés qui le forment. Une règ
longueur suffisante pour former la diagonale du parallélog
meut librement avec O P et O Q au joint O. L'extrême lé
règles rend le tout d'un poids très-faible.

Cet instrument sert à la démonstration de la loi du parall
des forces. Ayant pris pour unité de longueur un *inch*, sa
tout autre subdivision, on fait glisser le joint P sur O P,
que cette règle contienne autant d'unités qu'en a le poids W
la même chose pour O Q qu'on amène à contenir autant d'u
y en a dans W_2. P R et Q R se disposent alors parallèles
O P et de même longueur. On attache des cordons aux ext
B, C, des coulisseaux O A, O B et O R', et l'on passe c
sur des poulies P_1, P_2, P_3, comme dans la *fig.* 5, en y susp
poids W_1, W_2, W_3; on abandonne le système à lui-même,
libre s'établissant, on trouve que le coulisseau O R' a pris l
de la diagonale O R et contient autant d'unités de longueu
d'unités de poids dans W_3.

On peut varier l'expérience en changeant le poids W_3,
ger les deux autres; le système alors change de forme, mais
cide toujours avec la diagonale O R, et la longueur de ce
nale s'accroît ou diminue d'autant d'unités qu'on en a ajout
W_3, ou qu'on lui en a ôté.

ne que celui résultant de l'action de deux forces c'est-à-dire que le support sera dans la direction ie l'équilibre du point O sera maintenu; on dit es forces O P et O Q sont des forces *composantes*, ɛst la *résultante*.

proquement, si une force représentée en grandeur ion par la ligne O R, soutient l'effort d'une force ns la direction de la ligne O P_3; et que l'on prenne agissant suivant deux autres directions quelcon-, O P_2, représentées en grandeur par les lignes), parallèles aux directions O P_1, O P_2, réunies à point R; alors si ces deux forces peuvent rem-orce unique O R, l'équilibre subsistera dans les ditions que précédemment. On dit alors que la est *décomposée* en deux autres O P et O Q, et que rces lui sont équivalentes. Les directions O P_1 et quelconques. Ainsi, une force donnée peut se r en deux autres en toute direction quelconque.

ident que, quel que soit le nombre des forces i point O, on peut remplacer l'une d'elles O R utres O P et O Q, suivant lesquelles elle se dé-t réciproquement, on peut remplacer deux forces s O P et O Q par leur résultante O R.

aissant les directions de trois forces qui main-n point en repos, et la grandeur de l'une d'elles, terminer les grandeurs des deux autres forces.

n effet que les lignes représentant ces trois forces r et en direction forment les deux côtés adjacens onale d'un parallélogramme; prenant donc une sentant la force connue pour une de ces parties du amme, on n'aura plus qu'à le compléter par ses s parties dans les *directions* des deux forces res-parties alors représentent en grandeur les forces connues par conséquent.

rsque trois forces agissent sur un point O (*fig.* 4), directions O P, O Q, R O, et que la grandeur de git en O P est connue; on n'a plus, pour déter-randeur des deux autres, qu'à former le parallélo-ont O P qui représente la force connue est un des ont l'autre *côté et* la diagonale suivent les direc-et *O R. Ce parallélogramme* se construit évidem-

ment en menant par P une ligne parallèle à
intersection avec la direction O R en R, e
parallèle à O P, coupant O Q en Q.

22. Si un corps est sollicité par trois f
tiennent en repos, les lignes suivant lesq
forces prolongées, se couperont en un mê

Soient (*fig.* 1) $P_1\ p_1$, $P_2\ p_2$, $P_3\ p_3$,
vant lesquelles trois forces agissent sur le
posé ne pas avoir de poids; les points d'a
p_2, p_3. La force $P_1\ p_1$ produira le mêm
point qu'on la suppose appliquée, pourvu
dans la direction P_1 O suivant laquelle la
et il en sera de même de la force $P_2\ p_2$
$P_3\ p_3$, produisent donc le même effet s
elles étaient appliquées en O. On a donc, p
une force agissant en ce même point. S
tenant remplacées par leur résultante, il e
alors ne sera plus sollicité que par deux
cette résultante et la troisième force $P_3\ p$
en repos, il faut qu'elles agissent suiva
droite, en directions opposées (art. 6); c'
que la résultante des forces $P_1\ p_1$ et P
soit en ligne droite avec $P_3\ p_3$; donc l
passer par O.

Cette démonstration ne s'applique str
seul où les directions des forces se rencon
geant, en un même point *en dedans* du c
l'appliquer au cas également ordinaire où
en un même point *en dehors* du corps.
(*fig.* 7) que P_1 et P_2 prolongées se renc
hors du corps; alors, quoique nous ne
poser à présent que les forces soient app
O, puisque le corps n'existe pas en ce p
pouvons supposer que le corps s'étend
nière à renfermer le point, sans altérer l
quilibre; pourvu qu'en l'étendant ainsi,
diminue en rien les forces qui agissent dé
forces et leurs points d'application resta
clair que si elles étaient en équilibre ava
corps, en sorte qu'en concevant que le co

nière à renfermer le point O, ce cas rentre dans le précé-
nt.

APPLICATIONS

Du principe du parallélogramme des forces.

Il n'y a guère de cas d'équilibre où le principe de la composition des forces agissant sur un point ne trouve son application. Parmi les exemples nombreux qu'on en peut citer, nous choisirons les suivans :

23. Supposons un poids W supporté comme dans la *fig.* 8 par une poutre horizontale A C, en saillie sur le mur où elle loge en A, et soutenue par une jambe de force oblique C; et qu'on demande de déterminer la pression (1) et l'effort sur les charpentes A C et B C, ainsi que sur le mur aux points A et B. Menons B D parallèle à A C et C D à A B. Divisons C D en autant de parties égales qu'il y a d'unités dans le poids W, et cherchons combien il se trouvera de ces parties dans C B et C A. Les nombres ainsi obtenus seront égaux à ceux des unités de poids dans les pressions sur A C et B C, car le point C est maintenu en repos par des forces agissant dans les directions C D, C A et B C. Ces forces seront donc représentées en grandeur et en direction par les côtés et la diagonale d'un parallélogramme (art. 17). Or C D (art. 14) représente l'une de ces forces en grandeur et en direction, et C A et C B sont dans les directions des deux autres. Si donc l'on construit un parallélogramme ayant C D pour un de ses côtés, l'autre dans la direction C A, et sa diagonale dans la direction C B, ce sera le parallélogramme des forces agissant en C (art. 21). Le seul parallélogramme que l'on puisse former ainsi est évidemment A B C D.

Si C restant le même, on ramène le point B vers A, en donnant à C B une obliquité plus considérable, C D sera diminué d'autant; et le divisant, comme avant, en autant de parties qu'il y a d'unités dans W, chacune de ces parties sera moindre qu'avant; le nombre de parties égales en A C sera donc plus grand en A C, et par conséquent le nombre d'unités de poids dans la pression sur A C deviendra plus grand ;

(1) La pression est la force qui, agissant sur la longueur d'une charpente, tend à la *comprimer*, à l'écraser; l'effort tend à l'allonger.

ou démontrerait de même que la pression B C s'est

Dans cet exemple nous avons négligé le poids de pente elle-même.

25. *Presse Russel.* — A C et B C (*fig.* 9) repr deux barres jointes ensemble au point C; elles sont entre deux surfaces A et B sur lesquelles, ou sur l' quelles, on veut produire une pression, la force agi point C, suivant la direction P Q. La tendance de ce à ouvrir l'angle A C B est détruite par la résistance faces en A et B. Cette résistance se transmet le long d A C et B C, et quand il y a équilibre, le point C est en repos par des forces agissant dans les directi B C et P Q. Pour déterminer les deux premières for naissant la dernière, on n'a qu'à compléter le parallél A C B D, et à diviser sa diagonale C D en autant d qu'il y a d'unités dans P Q; les nombres de ces par tenus dans A C et B C donneront les pressions c (Art. 21.)

Il est clair que plus C D est petit, plus l'angle grand, ou réciproquement; ensuite qu'à mesure qu deur de chacune des parties dans lesquelles C D e devient moindre, le nombre de ces parties s'accroît et B C; conséquemment les pressions s'augmentent directions. Quand C D est extrêmement petit, ou A C et C B sont presqu'en ligne droite, les divisio nant extrêmement petites, A C et B C en contiennent bre excessivement grand. Ainsi les pressions sur A vent s'accroître presqu'indéfiniment en amenant A de plus en plus à se rapprocher d'une ligne droite.

25. Le mécanisme au moyen duquel sont attachée des d'une harpe, permet à l'accordeur de les tendre force égale à trois ou quatre fois celle de son poignet dis qu'un enfant a dans ses doigts assez de force pour vibrer, malgré cette tension. Cela s'explique ainsi :

Si A Q B (*fig.* 10) représente la corde infléchie, achève le parallélogramme Q *m n o*, dont les côt Q *m* et Q *n* représentent, chacun, la tension de la diagonale Q *o* représentera la force d'inflexion, qu

(1) M. *Prony* a calculé que les cordes d'un piano sont t une force égale à celle de quatre chevaux.

ctement à ces tensions (art. 17). Or elle est évidemment s—petite, quand on la compare avec les tensions, pourvu : la flèche d'inflexion soit courte.

26. Un exemple très-simple de l'application du principe du rallélogramme des forces se rencontre dans la manière ha- nelle de ficeler un paquet. Après avoir passé la corde tout tour, dans la direction A B E (*fig.* 11), et l'avoir arrêtée me par un nœud coulant du côté opposé à celui que pré- nte la figure, on replie la corde longitudinalement, et après voir passée sous la corde A B, on la retire en arrière ; on uve alors que, quelque ferme qu'ait été tendue la corde B E, il suffit d'une faible force appliquée dans la direction D, pour produire une forte inflexion de la corde entre A et et pour la tendre de nouveau plus fortement dans toute sa gueur. On peut aisément faire le compte de cette tension complétant le parallélogramme A P B *m*, on n'a qu'à di- er la diagonale P *m* en autant de parties égales qu'il y a nités dans la force qui agit suivant P D. Le nombre de ces ties contenu dans P A ou P B, donnera le nombre des tés de la force de tension (art. 17).

27. Supposons (*fig.* 12) une flèche dans la position E F G, te au moment où elle va s'échapper de l'arc tendu ; la e exercée par la main de l'archer en G, pour vaincre la ré- ance de l'arc, est celle avec laquelle la flèche est lancée. le point G est maintenu en repos par cette force et par les sions de la corde suivant les directions G C et G D. — Ces sions sont égales, si la corde tirée par la main droite et c tendu par la main gauche le sont l'un et l'autre, cha- *précisément par son point milieu.* Prenant alors deux es égales, G *m* et G *n* pour représenter ces tensions, et plétant le parallélogramme *m k n* G, la résultante (art. 19) it cette force avec laquelle la flèche sera lancée, sera re- sentée par la diagonale G *k* (art. 17). Il est évident que est d'autant plus grand que l'arc est plus tendu.

28. *La direction suivant laquelle se meut d'abord un corps icité par un nombre quelconque de forces, est évidemment le suivant laquelle il suffirait d'une simple force appli- e convenablement pour maintenir le tout en repos. Une le force est égale et opposée à la résultante des forces qui ssent sur le corps. Dès-lors, et réciproquement, la direc-*

tion suivant laquelle un corps se meut, est celle de la r-sultante des forces qui lui sont appliquées.

29. La résistance de l'air au mouvement de chacune d[es] ailes d'un oiseau est perpendiculaire à la surface des ail[es]. La force avec laquelle un oiseau se meut lui-même en av[ant] avec chaque aile, est en direction opposée à cette résistan[ce]. Menons (*fig.* 13) D A et D B perpendiculaires à la surf[ace] de chaque aile; D A et D B seront les directions des for[ces] par lesquelles l'oiseau se pousse en avant avec chacune de[s] ailes. Prenons les lignes D E et D F pour représenter ces for[ces] en grandeur, et complétons le parallélogramme E G F; [la] résultante D G (art. 19) ainsi déterminée, est dans la dir[ec]tion suivant laquelle l'oiseau se meut. Si les ailes sont é[ga]lement étendues, et que la force avec laquelle l'oiseau [se meut] suivant chacune d'elles soit la même, les lignes A D et [B D] feront des angles égaux avec la ligne P D passant au ce[ntre] du corps de l'oiseau, et les lignes E D et F D étant ég[ales], D G coïncidera avec cette ligne, le mouvement de l'oiseau [sera] ainsi directement en avant.

29. Les forces avec lesquelles un nageur se meut, [sont] suivant des directions perpendiculaires aux plantes d[e ses] pieds, et des paumes de ses mains. Si ces forces sont é[gales] de chaque côté de son corps, son mouvement est dans l[a di]rection de l'axe de son corps, la résultante des deux f[orces] passant par le centre de son corps. Si la force avec laq[uelle] il meut un pied est plus forte que celle avec laquelle il [meut] l'autre, un des côtés adjacens du parallélogramme A' B' ((*fig.* 14) sera plus grand que l'autre, la diagonale te[ndra] vers le plus grand côté, et le mouvement de la partie [infé]rieure du corps se fera dans cette direction. S'il meut [avec] plus de force la main du même côté, la résultante des f[orces] des mains sera au contraire de ce côté, et la tête s'y por[tera], en sorte que le corps tournera en rond.

30. La marche d'un bateau à rames offre (*fig.* 15) un [autre] cas d'un corps poussé par des forces obliques à chacu[n de] ses flancs, mais ayant leur résultante dans le sens de sa [lon]gueur.

31. Les voiles d'un vaisseau peuvent se placer de ma[nière] à déterminer son mouvement dans une direction bien d[iffé]rente de celle où souffle le vent, et réellement à le faire [mar]cher en sens opposé au vent.

s (*fig.* 16) que le vent souffle dans la direction ne des voiles du vaisseau soit placée obliquement ction C D. Prenons P Q pour représenter la force omplétons le parallélogramme P R Q T; ayant un rallèle à la voile et l'autre Q R qui lui soit per-. La force P Q (art. 29) est alors équivalente aux T Q et R Q, dont T Q appliquée dans une direce à la surface du vaisseau ne fait pas d'effet sur e force effective est donc R Q. Menons Q M suiu vaisseau Q S perpendiculaire à l'axe du vaisnplétons le parallélogramme Q M R S. Alors la est encore équivalente aux deux forces M Q et ı première tend à donner au vaisseau un mouvea direction de sa longueur, et la seconde un moucôté. La première force est détruite par la résisau à l'avant du vaisseau, et la seconde par la rél'eau à son flanc. Dès-lors le mouvement de flanc le par rapport à celui de l'avant.

lent que si le vent soufflait dans la direction B A, rait pas sur la surface de la voile C D qui est vers vaisseau ; surface sur laquelle il doit évidemment ur déterminer quelque peu de mouvement du, *avant*. Pour forcer le vent à frapper cette surface il faut incliner la position du vaisseau suivant on.

ıs que l'on veuille marcher de B vers A (*fig.* 17), flant directement de A vers B, et tournons le vaisquelque direction B P inclinée à B A. Les voiles ıt être placées de manière que le vent les frappe t et que l'on marche dans la direction B P. Ayant elque temps dans cette direction, on les change en ers P Q, puis on revient sur A en continuant à

CHAPITRE II.

32. *Equilibre d'un nombre quelconque de for à un point.* — 33. *Polygone des forces.* - *du polygone des forces.*

32. Pour déterminer les conditions d'équil *bre quelconque de forces* agissant sur un point, OP_1, OP_2, etc., les lignes représentant en direction ces forces agissant sur le point O, soient ou non dans un même plan. Par les menons $P_1 p_2$ et $P_2 p_2$ respectivement pa et à OP_2, et joignons Op_2. Les deux force seront alors équivalentes à une seule force grandeur et en direction par Op_2 (art. 19). menons les lignes $P_3 p_3$ et $p_2 p_3$ parallè ment à OP_3 et à Op_2, et joignons Op sentera dès-lors en grandeur et en direction Op_2 et OP_3, et par conséquent les trois OP_2, OP_3, puisque Op_2 est équivale premières. Semblablement, si l'on mène pa et p_3, des lignes respectivement parallèl OP_4, et qu'on joigne Op_4, cette ligne re force équivalente aux deux forces Op_3 et aux quatre forces OP_1, OP_2, OP_3, OP dra d'une manière analogue Op_5, qui sera e cinq forces OP_1, OP_2, OP_3, OP_4, OP_5.

Ainsi, puisque la force Op_5 est équivalen les qui agissent au point O, excepté la force si le point reste en repos, qu'il y soit mainte forces qui, dès-lors, sont nécessairement éga

Connaissant les directions et les grandeur quelconque de forces OP_1, OP_2, etc., e comme ci-dessus, une force qui leur soit éq on connaît la grandeur et la direction d'une f fisante pour compléter l'équilibre et mainten

tte force O p_6 est dite la résultante des cinq forces P$_2$, O P$_3$, O P$_4$, OP$_5$.

ervera que O P$_1$ représente la première force, et , qui est égale à O P$_2$, comme côtés opposés d'un allélogramme, représente la seconde force en granu'elle est parallèle à sa direction ; que de même les p_3, p_3 p_4, p_4 p_5, représentent les autres forndeurs et sont parallèles à leurs directions. Or ces ment les côtés d'un polygone O P$_1$ p_2 p_3 p_4 mplète la résultante O p_5.

nc un *nombre quelconque de forces agit sur un point construise un polygone dont un des côtés soit la lisentant une de ces forces, et les autres côtés succesdes lignes parallèles aux directions des autres forreprésentant en grandeurs, la ligne qui complétera te représentera la résultante générale.* C'est cette n, dont la découverte est attribuée à *Leibnitz*, ippelle le polygone des forces.

xemple suivant est choisi, entre plusieurs autres, trer l'action de plus de trois forces.

ndes cloches, qu'un seul homme ne pourrait faire sont mises en branle par l'effort de plusieurs homcun tire une cordelle attachée à la corde principale he, et à laquelle vient s'appliquer par conséquent ite de tous leurs efforts individuels. La valeur et in de cette résultante peuvent se trouver aisément les cas. — Soient (*fig.* 19) O P$_1$, O P$_2$, O P$_3$, P$_5$, les directions suivant lesquelles s'exercent les différens sonneurs. Menons parallèlement à ces dies lignes p_1, p_2, p_3, etc., représentant en granrce exercée par chacun, et formant les côtés d'un la ligne p_1, p_6 qui complétera le polygone, re- t la résultante en grandeur et en direction.

neurs, pour chaque cloche, sont ordinairement plaes distances sur la circonférence d'un cercle ayant re le point situé immédiatement au-dessous de la de la corde principale. En supposant que les foruées soient égales, leur résultante alors agit sui verticale même, et n'a aucune tendance à dor corde principale une direction qui dévie de cel

[redacted]

CHAPITRE III.

Equilibre d'un nombre quelconque de forces, a
différens points d'un corps, mais agissant
un même plan.

35. Sur une table horizontale et polie, plaçon
plateau (1) A B C (*fig.* 20), et fixons-le sur le
laire de la table par une série de poulies P_1, P
(sises dans des plans à angles droits avec son
que poulie ayant la portion la plus haute de sa ci
au niveau de la surface du plateau. Attachons
en des points quelconques pris à la surface du
p_2, p_3, etc., et après les avoir passées sur les pou
P_3, etc., suspendons des poids à leurs extrémit
ront représentées dans la figure par les mêmes
P_2, P_3, etc. (2). Abandonnons maintenant le
lui-même, et quand il aura atteint l'état d'éq
trouvera la relation remarquable suivante entre l
et les directions des forces appliquées. Si d'un
conque M pris dans le plan de la surface du
mène les perpendiculaires M m_1, M m_2, M m_3
directions P_1 p_1, P_2 p_2, P_3 p_3, etc., des
forces appliquées, et qu'on multiplie le nombr
dans la longueur de chaque perpendiculaire pa
des unités dans la force à la direction de laquell
pendiculaire est menée, la somme de ces produit
rapport à celles des forces qui tendent à fair

(1) Pour éviter, autant que possible, les frottemens, l
reposer sur trois billes d'ivoire assez espacées pour ne
en contact ensemble.

(2) On n'a pas marqué les poids dans la figure. Le
de ce genre sont d'autant mieux faites que les poids et
des poulies étant plus grands, la rigidité des cordelles et
opposés au mouvement du plateau sont moindres.

ème autour de ce point, dans un sens, est égale à la
ıme de ces produits pris par rapport à celles des forces
i tendent à faire tourner le système en sens inverse (1).
Ainsi, dans la *fig.* 20, si l'on multiplie (2) la force P_1 par
m_1, la force P_2 par M m_2, et la force P_3 par M m_3, on
ouvera, en faisant la somme de ces produits, qu'elle est
ale à celle des produits de la force P_4 par M m_4 et P_5 par
m_5.

1) L'expérience nous montre cette importante loi de statique, que
ın système quelconque de forces est appliqué à un corps de ma-
re à ce qu'il soit en équilibre, et qu'un second système de forces
t encore appliqué à ce même corps, en maintenant son équilibre, alors
conditions de ce dernier équilibre seront précisément les mêmes
si le premier système de forces n'existait pas; les deux systèmes
ıe mêlant en rien l'un à l'autre. Donc, s'il y a deux systèmes de forces
t chacun, appliqué séparément, suffise à maintenir le corps en re-
, le corps restera encore en repos si l'on vient à y appliquer les deux
tèmes à la fois; et réciproquement, si deux systèmes de forces ap-
ıués à un corps le maintiennent en repos, et que les forces com-
ınt l'un de ces systèmes soient en équilibre avec un autre, cet au-
aura dès-lors ses forces en équilibre entr'elles. Dans la recherche
lois de la statique à l'aide d'expériences, ce fait est important à ne
perdre de vue. Le grand obstacle au mode expérimental de re-
ırche consiste dans l'impossibilité d'obtenir aucune portion de ma-
re, où l'on veuille appliquer des forces, pour en rechercher les lois
quilibre, qui ne soit pas déjà sous l'influence de la force de gra-
é, dont il faut supposer que nous n'ayons pas à connaître la nature
la valeur. Cependant on pare à cette difficulté, en faisant agir sur
corps des forces qui neutralisent exactement sa gravité ou son poids.
rs la condition de l'équilibre des forces qu'on applique, devient pré-
ément la même que si aucune autre force n'agissait déjà. L'expé-
nce que nous venons de citer dans le texte en offre un exemple. Le
teau est, de fait, sollicité par deux systèmes de forces, son poids
la résistance des billes en directions *perpendiculaires* au plan
la surface, plus les tensions des cordelles *dans* ce plan. Les forces
premier système sont en équilibre entr'elles, car si l'on ôte les cor-
, de manière que les poids et les résistances des billes soient les
les forces agissant sur le plateau, il restera en équilibre. On en con-
t que les forces du second système agissant sur le plateau sont en
uilibre aussi. Le principe ci-dessus établi s'appelle le principe de
perposition des forces.

(2) Ici et dans tout le reste de cet ouvrage, où l'on parle d'une for
ultipliée par une ligne, il faut entendre que le *nombre* d
ités de la force est à multiplier par le *nombre* des unités de
ne.

Le produit d'une force, par la perpendiculaire qui
d'un point quelconque sur sa direction, se nomme le mo
de cette force autour de ce point. Par conséquent l
précédemment établie peut se formuler ainsi :

36 *Pour un nombre quelconque de forces, agissant d*
manière quelconque dans le même plan, et sur un p
quelconque pris dans ce plan, la somme des momens d
forces tendant à faire tourner le système dans une
taine direction autour de ce point, est égale, dans l
d'équilibre, à la somme des momens des forces qui ten
à le faire tourner en sens opposé.

37. Ce n'est d'ailleurs pas tout; et l'on verra plus
que si les forces agissant sur les différens points d'un syst
peuvent être transportées sur un seul point, et appliq
en ce point parallèlement à leurs directions, elles le m
tiendroient en repos. Il faut donc qu'il existe entr'elles
relation qui est nécessaire à l'équilibre de forces agis
sur *un point.*

38. Après tout, enfin, les forces agissant comme ci-
sus, en un nombre quelconque de points différens dan
même plan, *sont sujettes d'abord aux mêmes conditions*
régissent l'équilibre des forces agissant sur un point;
suite à cette dernière condition, que les sommes de leurs
mens opposés autour de ce point, quel qu'il soit,
égales.

39. Non-seulement on obtient ces conditions partout
il y a un équilibre, mais dès qu'on les obtient on est
qu'il y a équilibre. Elles sont non-seulement nécessa
mais encore suffisantes. Si donc on a un système de fo
qui ne soient pas en équilibre, et qu'on veuille les équi
brer, ou les placer en équilibre, on n'a qu'à ajouter
ou plusieurs forces qui déterminent les conditions dan
système.

Supposons que le système représenté dans la *fig.* 20
sollicité par les forces P_1, P_2, P_3, P_4, et qu'il faille
terminer la valeur de la force P_5, ainsi que la direct
suivant laquelle on doit l'appliquer pour produire un éq
libre. Prenons un point quelconque N dans le plan de
surface du plateau, et menons par ce point une lign
parallèle à $P_1\,p_1$ qui représente la force P_1 en g
(art. 14); par $n\,n_1$, menons $n_1\,n_2$ parallèles à $P_1\,p_2$ et

nt p_2 en grandeur. Menons de même $n_2 n_3$, puis $n_3 n_4$
sentant P_3 et P_4 en grandeur, et parallèles à leurs di-
ns; joignons $N n_4$; cette ligne représentera la force
ı grandeur et sera parallèle à sa direction (art. 33).
us avons maintenant déterminé P_5 de manière à faire
: système satisfasse à la première condition d'équilibre;
à-dire que les forces soient telles qu'appliquées en un
: point, elles le maintiennent en repos. Il reste à appli-
cette force au système, de manière à produire l'égalité
)mens qui constitue la seconde condition.
ır y parvenir, prenons un point quelconque M, et fai-
les sommes des momens opposés des forces P_1, P_2,
$_4$, autour de ce point, et comparons ces sommes avec
utre qui sera le complément nécessaire pour qu'il y ait
é entr'elles. Il suffira d'appliquer alors P_5, parallèle-
à sa direction $N n_4$, à une telle distance de M, que
ıoment fasse justement les deux sommes égales.
trouvera enfin cette distance, en divisant les sommes
nomens autour de M, par la force P_5 précédemment
minée.
méthode la plus facile de déterminer la ligne suivant
lle P_5 doit être appliquée, sera de mener par M une li-
M m_5 égale en longueur à la distance précédemment
ıée, et perpendiculaire à la direction $N n_4$. Une ligne
$_5$ perpendiculaire à son extrémité sera celle suivant la-
e la force devra être appliquée.
. Si un nombre quelconque de forces est en équilibre,
*force égale et opposée à l'une quelconque d'elles est la
tante de tout le reste.* Car si l'on ôte tout le reste, pour
ubstituer cette seule force, l'équilibre sera maintenu
mment, puisqu'elle détruira la force qui se trouverait
lui être uniquement opposée. Il résultera donc de l'ac-
de cette seule force, le même effet qui résultait de tou-
elles qu'on a ôtées ; donc elle est leur résultante. Ainsi,
éterminant, dans l'article précédent, la force nécessaire
produire l'équilibre entre plusieurs forces, nous
miné leur résultante, car nous savons que cette
ı sera une force égale et opposée.
.. Une des conditions d'équilibre peut s'obteni
re entre plusieurs forces. Ainsi l'égalité des mom
r lieu *entre plusieurs* forces, mais ces forces ne

telles qu'appliquées en un point, elles maintiennent ce
en repos (art. 38).

Dans ce cas, on peut trouver la valeur de la force P
cessaire pour produire équilibre dans le système, co
précédemment, et aussi la ligne N n_8 parallèle à sa direc
Or, pour produire l'équilibre, cette force doit être p
dans le système, de manière à ne pas détruire l'égalité
momens qui existe ; elle doit donc ne pas avoir de mo
autour de M ; car si elle en avait un, il faudrait acc
la somme des momens qui sollicitent le système d'u
d'autre côté. La perpendiculaire de M sur la directio
cette force doit donc être égale à zéro, c'est-à-dire que
rection doit passer par M : la direction de la résultant
opposée à celle de cette force.

42. *La résultante d'un nombre quelconque de forces,
les sommes des momens autour d'un point donné sont ég
passe par ce point.*

43. Supposons l'une quelconque des forces d'un sys
en équilibre représentée en grandeur et en direction p
ligne Pp (*fig.* 21), contenant autant d'unités de long
qu'il y en a de poids dans cette force, et menons des p
P et p des droites vers M, formant le triangle PpM. On
par une proposition bien connue de géométrie, que dem
l'aire de ce triangle est égale au produit du nombre des
de la base Pp, par le nombre de celles de la perpendic
Mm. Mais ce produit est le moment de la force, do
moment est égal à deux fois l'aire du triangle.

Dès-lors, si nous prenons comme ci-dessus une sé
lignes $P_1 p_1$, $P_2 p_2$, $P_3 p_3$, etc., etc. (*fig.* 22), pour
senter les forces du système, et que nous joignions leurs
trémités avec le point M ; les aires des triangles ainsi fo
étant doublées, seront respectivement égales aux mo
de ces forces ; et puisque les sommes des momens, par
port aux forces agissant dans des directions opposées,
égales, les sommes des aires des triangles étant doublées
ront égales ; et par conséquent les moitiés de ces sommes
les aires elles-mêmes des triangles, seront égales (1).

(1) Si donc les forces, dans la figure, sont en équilibre, leurs
tions étant représentées par celle des flèches, les aires des tri
M p_2 et P_4 M p_4 seront égales, ajoutées ensemble, à celles
gles P_1 M p_1 et P_3 M p_3.

in formule ainsi cette importante loi : *si l'on repré-*
nombre quelconque de forces, agissant dans le même
étant en équilibre, par des lignes, et qu'on joigne les
tés de toutes ces lignes avec un point quelconque dans
la somme des aires des triangles ainsi formés; qui ont
tes les forces tendant à faire tourner le système dans
seront égales à la somme de celles ayant pour bases
s tendant à le faire tourner dans l'autre sens.

i toutes les forces agissant sur le système sont *paral-*
le à l'autre, la perpendiculaire à l'une d'elles, en les
sant suffisamment, sera perpendiculaire à toutes les
Le moment de chaque force est donc (*fig.* 23) sa dis-
point M mesurée sur cette perpendiculaire, multi-
r le nombre de ses unités de force. Pour qu'il y ait
, la somme de ces momens, pour les forces tendant
ourner le système dans un sens autour de M, doit être
a somme des momens des forces tendant à faire tour-
ystème dans l'autre sens.

De plus, les forces elles-mêmes doivent être telles,
appliquées parallèlement à leurs directions en un seul
lles maintiennent ce point en repos. Mais, ainsi appli-
lles agissent évidemment toutes suivant une même ligne
Or, les forces agissant suivant une même ligne droite,
ent être en équilibre, à moins que la somme de celles
dans un sens ne soit égale à celle des forces agissant
sens opposé. Donc, dans le cas de forces parallèles,
tion pour qu'elles maintiennent le point en repos se
ceci : *que la somme de celles tendant à faire tourner*
se dans un sens, soit égale à la somme de celles ten-
e faire tourner dans l'autre sens (1).

les forces P_1, P_2, P_3, P_4, étant respectivement 1 kil.,
4k, et les perpendiculaires Mm_1, Mm_2, Mm_3, Mm_4
spectivement 1, 2, 3, 4 centimètres; la force P_5 né-
pour les maintenir en équilibre devra être égale à la

insi, dans la figure, les forces et les directions doi-
e telles que $P_1 + P_2 + P_3 = P_4 + P_5$; et que
$Mm_1 + P_2 \times Mm_2 + P_3 \times Mm_3 =$ ...
$P_5 \times Mm_5$. Ces conditions sont nécessai

somme de 1^k, 2^k, 3^k, diminuée de 4^k; c'est-à-dire moins 4^k, ou 2^k; et elle doit être appliquée parallèleme la direction du reste, à une distance de M, telle qu'étant tipliée par 2, elle donne un produit égal à la différence

$$(6 \times 1 + 5 + 2 + 2 \times 3) - (1 \times 4); \text{ ou } 18.$$

Or, puisque le produit de 2 par la distance Mm_4 doit 18, il est évident que cette distance sera 9.

CHAPITRE IV.

47. *Equilibre des forces parallèles.* — 49. *Si elles conser toujours leur* PARALLÉLISME *dans toutes les positions corps auquel elles sont appliquées, leur résultante p toujours par le* MÊME POINT *du système.* — 51. *Centr gravité.* — 54. *Méthode expérimentale pour le dé miner.* — 55. 57. *Exemples de centres de gravité.*

47. Tâchons de trouver maintenant *la quantité et la rection de la résultante d'un nombre quelconque de fo agissant dans des directions parallèles l'une à l'autre, non dans le même plan.*

Il faut observer d'abord que deux lignes parallèles étant cessairement dans le même plan, les directions de deux fo parallèles quelconques du système seront essentiellem ainsi.

48. Trouvons, avant tout, la résultante de deux forces rallèles; puis considérant cette résultante comme rempla les deux premières, trouvons la nouvelle résultante avec troisième force; ensuite nous aurons de même une résult avec une quatrième force, et ainsi de suite. Nous arriver donc à déterminer, par ce moyen, la direction et la valeur la résultante générale des forces du système.

49. Il est évident que la valeur de cette résultante gén rale est la somme des forces composantes, dans le cas es les composantes tendent à faire mouvoir le corps da ême sens (art. 46). Car la résultante des deux premiè

mme, et la nouvelle résultante avec la troisième
ıssi *leur* somme, c'est-à-dire celle des trois pre-
es; la résultante avec la quatrième force est en-
ıme des quatre premières forces, et ainsi de suite;
ıe la résultante définitive est la somme de toutes
antes.

ıelques-unes des composantes tendent à faire mou-
ps dans un sens opposé à celui de l'impulsion des
les retranchera de la somme totale, et l'on aura de
résultante définitive.

*n corps est sollicité par un nombre quelconque de
llèles, de manière à ce que sa position venant à
es forces continuent à agir sur les mêmes points,
arallèlement à leurs premières directions; il y
un point dans ce corps, par lequel passera cons-
ı résultante de toutes les forces, dans quelque po-
se trouve le corps.*

soient P, P' (*fig.* 24) les points d'application de
es forces; joignons PP', et divisons-la en G, de
que les produits des forces P et P', par les lignes
' soient respectivement égaux; alors les produits
ıs par les lignes GM et GM' menées perpendicu-
ur leurs directions, seront égaux aussi. Car c'est
ı élémentaire de géométrie, que, puisque les trian-
et GM' P' sont semblables, quelque partie de GP
M, GM' sera la même partie de GP'. Donc quel-
du produit GP par P que soit le produit GM par
ıit GM' par P' le sera de GP' par P'. Or les pro-
P par P et de GP' par P' sont égaux; les pro-
M par P et de GM' par P' sont donc égaux aussi;
e que leurs momens autour de G sont égaux. La
de P et P' passe donc par le point G (art. 42).
ai d'ailleurs, quelle que soit la position de la ligne
apport aux directions des forces P et P'. Ainsi,
osition que puisse prendre cette ligne, dans le
t du corps, par rapport à ces forces, l[illegible]
ıra toujours par le même point G, dans
nt trouvé un point par lequel passe to
ıs deux premières forces, joignons e
plication d'une troisième force. La r
ıières forces étant supposée remplac

on trouvera le point par lequel passera toujours la nouv résultante, de la même manière ; en sorte qu'en contin ainsi, on arrivera à trouver le point par lequel la résul de toutes les forces du système passe *toujours*.

52. Maintenant les forces qui, de toutes les parti corps, tendent à descendre vers le centre de la terre, peu être considérées comme *parallèles*, puisqu'elles conv vers un point, le centre de la terre, dont la distance finie par rapport aux distances qui séparent les diff parties du corps lui-même. Dès-lors un pareil corps jours être considéré comme sollicité par un système parallèles dont on peut trouver la résultante ; et ces dans toutes les positions du corps, agissent sur les points, dans des directions parallèles à leur première tion ; il y a donc, dans ce corps, un point par lequel toujours la résultante, dans quelque position qu'on corps. Ce point s'appelle *le centre de gravité du corps*.

Ainsi le centre de gravité d'un corps est *un point quel passe toujours, dans chaque position du corps, la tante des poids de ses élémens*. Si la totalité de ces poi vait être retirée des diverses parties de la masse son volume et sa solidité, et concentrée en ce point, les effets seraient constamment produits dans toutes les tances.

53. Quoique le procédé indiqué dans l'art. 51 soit pour nous assurer de l'existence, dans tous les corps point possédant les propriétés du centre de gravité, il met pas cependant à même de déterminer la position de ce point. Evidemment par la raison que les points plication de la gravité de la masse étant infinis en infiniment près l'un de l'autre, ce procédé ne pourr conduire au résultat qu'en le répétant à l'infini, et lignes qu'il suppose n'auraient-elles pas de longueurs ciables. La position du centre de gravité d'un corps d'ailleurs toujours être déterminée par le calcul ; mais dans un grand nombre de cas, sa position trouvée d'une manière beaucoup plus facile, ainsi l'allons voir ; et la méthode *expérimentale* sera plicable à tous.

54. Soit A P (*fig.* 25) une cordelle suspendue et soit P M la direction que prendrait le fil à plo

ibrement à partir du même point de suspension. Les orces qui sollicitent le corps sont les poids des diffé- parties du corps et la tension de la cordelle dans la ›n P A. Les poids peuvent être remplacés par leur ı te, et le corps ne sera plus dès-lors soumis qu'à l'ac- deux forces, savoir : la résultante des poids des dif- ; parties de la masse, et la tension de la cordelle. le corps reste en équilibre, ces forces sont en ligne mais en directions opposées; la résultante des poids ›rses parties du corps agit donc suivant la direction de P M. Mais elle passe toujours par le centre de gra- centre de gravité est donc dans la ligne P M. Ayant cette direction P*p* (*fig*. 26), suspendons le corps par › point Q. On trouvera de même que le centre de est dans la ligne Q M; il est donc à la fois dans les ' *q* et P*p*. Ces lignes se coupent donc, et le centre de est à leur intersection G.

n corps placé sur un plan horizontal, tombera tou- moins que son centre de gravité ne soit sur cette n effet, les forces qui sollicitent le corps à tomber uivalentes à une seule force verticale, agissant en ce ıe peuvent être détruites que par la résistance que le ır oppose dans une direction opposée à cette force, ıe peut évidemment avoir lieu, à moins que sa direc- passe pas la base du corps.

›nc G est le centre de gravité des masses représentées s *fig*. 27 et 28; la résultante des forces agissant sur e est équivalente à une simple force agissant dans la on verticale G*g*, et ne peut être détruite par la résis- lu plan A B, à moins que cette simple force ne soit te- équilibre; c'est-à-dire à moins que le plan n'oppose sistance égale dans une direction opposée à G*g*. Mais › peut évidemment avoir lieu, à moins que G*g* ne passe B. Dans la *fig*. 27 le corps restera donc en repos, mais a *fig*. 28 il tombera.

'on a égard au centre de gravité, on pourra construire itimens solidement, quoique leurs murs s'é ›au- de la verticale. La tour de Pise (*fig*. 2 ›enchée, s'incline assez loin de la verti ire aux étrangers qu'elle ne vienne à t

verticale qui passe par son centre de gravité n'est [illegible] de sa base, en sorte que la tour est solide (1).

[illegible]. Il n'est pas nécessaire à l'équilibre d'un corps pesant, sur un plan horizontal, que la verticale pa[illegible] son centre de gravité coupe ce plan en un point qui [illegible] contact avec le corps. Tout ce qu'il faut, c'est que la [illegible] de cette verticale soit telle que les pressions sur le[illegible] points des surfaces en contact puissent avoir pour le[illegible] [illegible] une force en direction opposée à cette ligne. [illegible] évidemment possible, quand diverses parties [illegible] sont en contact avec le plan, et que la verticale qui [illegible] centre de gravité passe entre les points de contact. Ai[illegible] la fig. [illegible], [illegible] l'équilibre si [illegible] passe entre les su[illegible] [illegible] A et B ; dans la fig. [illegible], si c'est entre les tro[illegible] A, B, C.

Généralement, si l'on mène des lignes joignant l[illegible] extrêmes de contact du corps avec le plan sur lequ[illegible] [illegible] [illegible] ces lignes est strictement [illegible] [illegible], il y aura équilibre toutes les fois que la [illegible] qui passe par le centre de gravité, coupera le plan en [illegible] quelconque dans cette aire.

[illegible]. Le corps humain repose sur une base dont le[illegible] sont les lignes extérieures des plantes des pieds et l[illegible] qui joignent d'une part les talons, et de l'autre les [illegible] (fig. [illegible]) ; tout changement dans sa position est régi [illegible] loi, que son centre de gravité ne doive jamais des l[illegible] cette étroite base. Le mouvement de chacune des p[illegible] corps est ainsi toujours accompagné du mouvement [illegible] quelque partie en direction opposée, en sorte qu[illegible] [illegible] de chaque partie exige une attitude convenable [illegible].

Dans le choix [illegible] des attitudes par lesque[illegible] [illegible] ainsi convenablement le poids de tout le [illegible] [illegible] à sa base, nous ne pouvons dire cependant q[illegible] quelque [illegible], car cela se fait instinctivement san[illegible]

(1) Les dimensions de cette tour diminuent à mesure qu'el[illegible] [illegible] est bien moins d'épaisseur par haut que par bas. [illegible] [illegible] à ramener le centre de gravité bien au-dess[illegible] [illegible], et à faire au-dedans passer la verticale qui p[illegible] [illegible] bien en dedans de sa base.

se. La pose et les mouvemens gracieux dépendent du
ndre déplacement possible du corps dans chaque atti-
e ; et c'est dans la connaissance des attitudes les plus
venables à chaque espèce d'action, que consiste l'habi-
du peintre et du statuaire. Dans la belle statue de
rcure (*fig.* 33) le dieu s'élance de terre ; son corps et l'un
les bras sont en avant, portant le centre de gravité hors de
erticale qui passe à l'extrémité du pied sur lequel re-
e la figure. Pour l'y ramener, le sculpteur a placé l'autre
s et l'autre jambe en arrière, donnant ainsi à la statue
stabilité que le corps humain a lui-même dans diver-
circonstances.

58. L'homme qui porte un fardeau répartit sa position et
titude de son corps, de manière que la résultante du poids
se toujours par la base sur laquelle il se porte lui-même.
nsi le porteur de la *fig.* 34, qui a un paquet sur le dos,
cline en avant pour que le centre commun de gravité
e son corps et de son fardeau passe dans l'aire tracée par
pieds. Ce point g se trouve dans la ligne qui joint les
tres de gravité G et H du corps de l'homme et de son far-
u ; la position de ce point est telle que G g multiplié par le
ds du corps est égal à H g multiplié par celui du fardeau.
S'il se tient parfaitement droit (*fig.* 35), il est clair que,
isque le poids du fardeau ne porte que sur une petite
tion de son corps, la verticale g viendra couper la terre
deçà de ses talons, et que l'homme tombera en arrière.
Tous ceux qui portent des fardeaux savent cela par expé-
nce, et en prenant leur charge sur leurs épaules ils ont
n de se baisser en avant, afin d'amener la résultante du
ds de la charge et du corps dans les limites voulues. Si le
deau peut se répartir de manière à changer sa forme ex-
eure, la forme qu'ils choisissent est la plus plate possible,
qui rapproche d'autant son centre de gravité de la verticale
passe par le centre de gravité du corps du porteur et
duit l'équilibre avec la moindre inclinaison.

Un fardeau porté par-devant force, au contraire, à rejeter
orps en arrière. Ainsi l'éventaire d'une marchande (*fig.* 36),
nd il est d'un poids considérable, place le point g si fort
avant que sa verticale viendrait au-delà des pie
nerait une chute si la femme n'avait soin de
et ses épaules en arrière.

Quand elle s'arrête pour mettre à terre son far
cette position détermine sa tête et ses épaule
pour compenser ce désavantage elle courbe le
bien en arrière de la ligne des talons, et d'a
arrière que le poids est plus lourd. Encore la
vité est-elle nécessairement beaucoup plus en a
toutes les poses droites du corps, et conséque
position où le corps est le plus sujet à tombe
des raisons analogues que certaines personne
plus possible en arrière la partie supérieure du co
au gros ventre (*fig.* 38) est dans ce cas, ainsi
portant un enfant (*fig.* 40), et qui ramène le c
de gravité d'elle et de l'enfant entre ses pieds.
porte un panier d'une main (*fig.* 39) penche
l'autre côté. La nourrice (*fig.* 41) qui porte d
tient droite ; il en est de même du porteur d'
qui a ses deux seaux dans chaque main, (
(*fig.* 43) qui a ses bras également pendans.

59. Quand un homme se tient droit, la ve
par son centre de gravité tombe au milieu en
Lors donc qu'il en lève un, cette ligne arrive
de l'aire tracée par l'autre pied et il tomberait ;
en levant le pied, de pencher le corps en sen
conserve ainsi le centre de gravité sur la base
reste, ne posant que sur un pied. En marchan
porte alternativement d'un pied sur l'autre, e
ment il meut sans cesse la partie supérieure (
et d'autre côté.

60. *Le centre de gravité d'une droite d'épaiss
baguette de métal par exemple, est dans son*
Supposons, en effet (*fig.* 44), la baguette AB di
parties égales au point G, et soient g, g' les ce
vité respectifs de ses deux parties. Puisque G A
deux parties égales et semblables en tout, il
leurs centres de gravité g et g' seront semblabl
en sorte que si l'on renversait GB sur GA, il
cidence parfaite, g tombant sur g'. G g est don
Or les résultantes des forces agissant sur GA e
toujours par g et par g' (art. 52) et sont toujours
l'autre ; leur résultante doit donc toujours passe
milieu entre g et g' (art. 42). Cette résultant

ırces agissant sur la droite A B. Puisque la ré-
poids des différentes parties d'une droite passe
: son milieu, une droite sera toujours en équi-
elle sera suspendue par son point milieu.

*; figure géométrique qui est symétrique par rap-
certaine ligne, a son centre de gravité sur cette*

s d'abord que la figure soit dans un même plan,
;ons-la (*fig.* 45) par A D B C symétrique autour
sorte que les parties A D B et A B C sont égales
:s en tout. Soient g et g' les centres de gravité de
Alors si l'on renverse A D B sur A C B, il y aura
parfaite, et le centre de gravité g tombera sur le
ravité g'; donc en joignant $g\,g'$ qui coupe A B en
ı g' sont égales. Or les forces agissant en g et g'
aussi, puisque ce sont les poids des deux figures
3 et A C B. Leur résultante passe donc toujours
42) qui est un point de A B; c'est-à-dire que
de gravité est sur A B.

figure a deux lignes de symétrie, son centre de
ınt se trouver à la fois sur chacune de ces lignes,
à leur point d'intersection qui est le seul point
x deux lignes.

parallélogramme étant symétrique autour de ses
a pour centre de gravité l'intersection de ces dia-

:it qu'une figure est symétrique autour d'un point,
l'est autour de toutes les lignes qui passent par ce
oint alors est évidemment le centre de gravité de

cercle et une ellipse étant symétriques autour
ıtres, ont leurs centres de gravité en ces points.
ême raison, une roue supportée par un axe qui
ın centre, reste en équilibre pendant qu'elle tourne.
›n suspend un corps par l'une des extrémités de
symétrie, il ne restera pas en équilibre tant que
ıe sera pas dans la verticale G (*f*- effet,
ı gravité est dans cette ligne, et
ndu ne peut rester en équilibre,
avité ne soit dans la verticale pas
on.

Les cadres des tableaux sont ordinairement de for tangulaire (*fig.* 47) : or un rectangle est symétrique p port aux deux lignes qui joignent les points milieux d opposés. Si donc il est suspendu pour le point milie de ses côtés, il restera dans la verticale, et ses deux cô rallèles à cette ligne seront verticaux aussi.

65. Une surface courbe, ou un solide, sont dits triques autour d'une certaine ligne qu'on appelle axe ; par un plan perpendiculaire à cet axe, la section est trique et son centre de symétrie est sur cet axe. Si coupe une surface courbe ou un solide par une série d très-près les uns des autres, les centres de gravité minces sections ou anneaux, entre chacun de leurs deu adjoints, sont dans l'axe de symétrie ; et la surface ou lide se composant entièrement de ces sections, le ce gravité du tout est sur l'axe. Si, par conséquent, un deux axes de symétrie, comme le centre de gravité trouver à la fois sur chacun, il se trouvera à leur in tion. Ainsi la figure 48 qui est renfermée par six pla rallèles et opposés deux à deux, et qui est symétrique d'une ligne joignant deux quelconques des angles opp son centre de gravité G à l'intersection de deux de ces l et si on la suspend, ce point se trouvera immédiatemen dessous de son point de suspension.

Une sphère est symétrique autour de son centre qu conséquent, est son centre de gravité. Un cylindre (fi est symétrique autour de son axe et autour d'une lig coupe son axe perpendiculairement. Ce point d'inters milieu de l'axe, est dans son centre de gravité.

66. Nous allons nous occuper maintenant des positi centres de gravité de certains corps qui ne sont pas triques autour d'un point.

Pour trouver le centre de gravité commun à deux AB et A'B' (*fig.* 50), divisons-les en deux parties ég points G' et G''. Ces points sont les centres de grav fs de ces lignes, et les résultantes des forces qui lignes passent toujours par ces points. Ces résu ds des lignes AB et A'B'. Joignons G'G'' un point G, tel que GG' multipliant le poid G'' multipliant le poids de A'B'. Alors l ts agissant en G' et G'', qui est la résult

forces du système, passera toujours par ce point G
t 51), quelque position que prenne le système dont
conséquent le centre de gravité.

uver le centre de gravité de trois lignes formant un

s (*fig.* 51) la demi-somme des poids A C et BC, la
me de ceux AB et BC, et trouvons sur B C un
tel que la première somme multipliée par G' C soit
seconde multipliée par G' B. Trouvons, par un
semblable, un second point analogue G'' sur AB.
AG', GG'', et le point G sera le centre de gra-
ut.

l les lignes ont les mêmes centres de gravité que si
poids étaient divisés, chacun en deux parties égales,
blés à leurs extrémités. Supposons-les ainsi ras-
n A, B, C, le centre de gravité des poids rassemblés
sera en G'. Donc le centre de gravité de *tous* les
emblés en A, B, C, sera sur la ligne qui joint A et
ême le centre de gravité de tous les poids sera sur
G''. Or, puisqu'il doit se trouver à la fois sur ces
s, il sera à leur intersection G.

uver le centre de gravité d'un plateau mince, ou
forme de triangle.

3 C (*fig.* 52) cette plaque triangulaire. Divisons le
en deux parties égales au point M et joignons AM.
s le triangle divisé par des lignes parallèles à B C
ment près l'une de l'autre. Soit PQ la portion
ntre deux de ces parallèles. Le centre de gravité de
son point milieu *q*. Or le point *q* de la section
chaque autre section semblable, est sur la ligne
e chacune de ces sections a son centre de gravité

sant AB en deux parties égales au point N et joi-
, on trouvera de même que le centre de gravité de
triangulaire doit être sur C N. Il est donc au point
tion de A M et C N.

r trouver le centre de gravité d'une pyr n
53), coupons-la par des plans PQR pa
) et très-près les uns des autres. Prenons
de cette base et joignons AG'. Cette
s les sections de la pyramide en des po.

blement situés dans chacune, et passera par le gra-
vité de la section adjacente à B C D, ainsi que par cel
les autres sections; le centre de gravité de chaq
triangulaire entre deux sections sera donc sur (
Or toute la pyramide se compose de ces plaque
centre de gravité de toute la pyramide sera sur A G'
si l'on prend le centre de gravité G'' de la fac
qu'on joigne D G'', le centre de gravité de toute l
sera sur cette ligne. Il est donc en G intersectio
et A G', A G étant égal aux trois quarts de A G'.

CHAPITRE V.

Résistance d'une surface non exclusivement suiva
rection perpendiculaire à cette surface. — Frot
Angle limite de résistance. — Exemples.

70. Nous supposerons maintenant que les parties
solide sont si fermement cohérentes qu'elles ne p
séparer par l'action d'aucune force qu'on fasse p
elles. Nous verrons ailleurs les limites dans lesqu
hypothèse devient une vérité. La question que n
traiter a rapport à la direction suivant laquelle la su
corps peut être pressée par un autre, de manière
glisser dessus.

71. Supposons (*fig.* 54) une masse A pressant sur
masse B, par une force P agissant suivant une dire
pendiculaire à la surface commune des deux corp
une seconde force agissant dans une direction pa
cette surface. Les forces P et Q agissant suivant d
tions perpendiculaires l'une à l'autre, ne peuvent év
pas se faire équilibre l'une à l'autre, et on s'atte
corps se meuvra dans la direction de cette derni
Il peut d'ailleurs n'en être pas ainsi; car aussi lo
que la force Q n'excède pas une certaine limite, il n
aucun mouvement. Il se produit donc dans le systèm

elle force faisant équilibre à Q, et c'est cette force qu'on le frottement. Il agit toujours suivant une direction lèle aux surfaces en contact, et *il est toujours, pour des ces de même nature, la même fraction ou partie de la P qui presse ces deux surfaces*, quelle qu'en soit la va- ou quelle que soit l'étendue des surfaces en contact.
te fraction se nomme le coefficient du frottement. Elle même pour les mêmes surfaces, de quelqu'étendue que les surfaces ou la force qui les presse l'une contre l'autre; it différente pour des surfaces différentes.
nsi, quand les deux surfaces sont de bronze, le coeffi- du frottement est représenté par la fraction $^1/_{5,7}$; tan- e si l'une des deux surfaces est de bronze et l'autre d'a- l est de $^1/_{7,2}$.

Supposons maintenant (*fig.* 55) que la force P, au 'avoir sa direction perpendiculaire aux surfaces en con- ait été imprimée obliquement. Menons par le point M direction de P rencontre ces surfaces, la perpendiculaire et complétons le parallélogramme P Q M P', en menant perpendiculaire à M P'. La force P étant alors repré- par la ligne P M est équivalente aux deux autres re- ntées par P' M et Q M. La première P' M est celle qui e les surfaces l'une contre l'autre; leur frottement l'une autre sera donc une certaine fraction de cette force P' M. conséquent, si l'autre force Q M tendant à faire mouvoir urfaces l'une sur l'autre, n'excède pas cette fraction de ; ou, en d'autres termes, si Q M n'est pas une fraction grande que le frottement l'est de P' M; ou bien si cette on que Q M est de P' M n'excède pas le coefficient de ment, il n'y aura pas mouvement; et la force P, quelque le qu'elle soit, sera détruite par la résistance des sur- .

, plus la direction de P M approche de P' M, plus Q M n égal P P' est une moindre fraction de P' M. En sorte i l'on mène une ligne, faisant avec P' M un angle tel que ction de P M que sera P P' soit justement égale au coeffi- du frottement, on saura que pour toute direc le P' M, elle sera moindre que ce coefficie s une force appliquée suivant une direction dans de cet angle, sera détruite par la rés s.

Cet angle peut s'appeler l'angle limite d
dépend du coefficient du frottement, ayant s
à celle de ce coefficient. Il est donc le même p
de même nature, quelle que soit la quantité
mais il est différent pour des surfaces différe

73. Il suit de là qu'une force imprimée
d'un corps solide, en repos, par l'interven
corps solide, sera détruite, quelle que soi
pourvu seulement que l'angle que cette dir
la perpendiculaire à la surface n'excède pas u
appelé l'angle limite de résistance à cette su
vrai, quelle que soit la grandeur de la for
la direction de la force vient en dehors de
ne peut être détruite par la résistance des s
est vrai, quelle que soit la petitesse de la fo

Dans les ouvrages de mécanique, la dire
quelle s'exerce la résistance d'une surface, s
ment par la perpendiculaire au point de co
savante abstraction, primitivement introduite
les conditions d'équilibre, et diminuer les dif
cles de la statique. Il est plus que douteux,
tuel de la science, qu'il y ait encore des rais
une hypothèse directement opposée aux fait
données étant fausses, les résultats, en déf
sont contraires à l'expérience; et toutes les
ées sur cette hypothèse sont soumises à des
frottement.

Après tout, s'il peut exister des surface
ment polies pour que, libres de tout frottem
truisent que les forces qui leur sont perpen
ture ne présente ordinairement que des corp
ment, de manière à détruire toutes les f
suivant un angle moindre avec la perpendicu
limite de leur résistance. Conséquemment,
nous considérerons la résistance d'une surfa
çant également en toute direction en dedan

74. En marchant, le poids du corps es
pé dans l'enfourchure des jambes, et leur
parée est combattue par le frottement des
Tant que l'inclinaison des jambes n'excède
de résistance, les pieds ne glissent pas, quel

ιasse qu'ils supportent, ou la force musculaire qui les r le sol. La plupart des substances qui forment la sur-ιnt, de leur nature, rudes et dépolies, ayant un grand imite de résistance. Tant que le sol sur lequel on che-st en plan horizontal, on peut incliner ses jambes sui-ı angle considérable à partir de leur position naturelle, ιcun danger de glisser, ainsi qu'on peut s'en assurer ent en courant ou en sautant. Mais si le sol est incliné ιière que la direction suivant laquelle le poids du corps tenu par les jambes, soit déjà inclinée à la surface, la e inclinaison des jambes est suffisante pour amener la ın de pression en dehors de l'angle limite de résistance, glisser le corps.

ı le cas où l'angle limite de résistance est petit, une nclinaison suffit pour amener une chute. Ainsi les 'un homme glissent sous lui facilement quand il mar-la glace, parce que l'angle limite de résistance entre ɔ et le cuir de la semelle des souliers est petit; il faut ire de petits pas et les incliner sous le moindre angle pos-'ar la même raison, on glisse plus facilement encore avec ıliers ferrés.

)uand le pied est supporté par une mince plaque de mme celle d'un patin, la portion de la surface de la ıui supporte la pression étant excessivement petite, et le fer s'enfonce dedans. Le mouvement de côté est ımpêché par le bord de côté de la glace dont la raie en longueur, tandis que le bord en avant n'a qu'une égale à l'épaisseur de la lame du patin. Le pied glisse ıcilement dans la direction en avant, et il y a peu ;er d'un écart latéral.

La force musculaire qu'un homme déploie en mar-est la même, à chaque pas, détruite entièrement par ıtance de la terre quand un pied touche le sol, et re-te quand l'autre pied est levé; une portion s'exerce en ɔn verticale, l'autre horizontalement, et la première te détruite par la résistance du sol.

Il est à peine quelque chose qui produirait un plus inconvénient pour nous que la perte de ce frottement, ous nous plaignons tant quand nous trouvons qu'il érobe la force que nous employons da[illegible]
ıt s'il n'existait pas, en tout et parto[illegible]

les forces que nous produisons continuellemen celles qui se produisent autour de nous, par sui fet, le monde serait à peine habitable.

S'il n'y avait pas de frottement, par exem impossible à l'homme de se déplacer, sans l'a qu'obstable fixe qui lui donnerait les moyens en avant. S'il n'y avait pas, dans le sol, que horizontal de résistance pour détruire le mouvei qu'il s'imprime à chaque pas, ce mouvement coi qu'à ce qu'un obstacle vint à s'interposer pou en sorte que la plus grande partie de son temp en oscillations entre des obstacles, naturels que la surface de la terre opposerait à son mouv oscillation d'ailleurs serait commune à tous le més et inanimés autour de lui. Le moindre v rait; la plus légère inclinaison de corps l'entraîn chaque chose qui lui échapperait de la main avec la force latérale qu'il ne pourrait manque muniquer en lâchant prise. S'il voulait s'asse glisserait sous lui, et quand il voudrait se co lit, ce lit s'éloignerait. Suivant toute probab donnerait la terre et habiterait sur les eaux c élément plus stable.

78. La Table suivante contient la liste des pr stances dont le frottement l'une sur l'autre a avec la fraction constante de la pression que est pour chacune d'elles, et montre l'angle lir tance correspondant à cette fraction.

…ation des surfaces en contact.	Coefficient de frottement.	Angle limite de résistance
…et glace	$\frac{1}{69,81}$	0° 49'
…et glace	$\frac{1}{7,73}$	1 35
…ur et bois dur	$\frac{1}{7,38}$	7 43
… et fonte de fer	$\frac{1}{7,11}$	8 0
… et acier	$\frac{1}{7,20}$	7 54
…doux et acier doux	$\frac{1}{6,85}$	8 18
…ndu et acier	$\frac{1}{6,62}$	8 36
…rgé et fer forgé	$\frac{1}{6,26}$	9 5
…de fer et fonte de fer	$\frac{1}{6,12}$	9 17
… dur et fonte de fer	$\frac{1}{6,00}$	9 27
…de fer et fer forgé	$\frac{1}{5,87}$	9 40
… et bronze	$\frac{1}{5,70}$	9 57
…t fonte de fer	$\frac{1}{5.59}$	10 8
…t fer forgé	$\frac{1}{5,53}$	10 15
…oux et fer forgé	$\frac{1}{5,28}$	10 43
… fer	$\frac{1}{4,00}$	14 2
… étain	$\frac{1}{3,78}$	14 49
…et granit	$\frac{1}{3,30}$	16 52
…aune et sapin jaune	1 –	9
… grès		
laine et drap de laine		

Nota. Cette table est calculée d'après les expériences M. *Rennie*, sous la pression de 36 *pounds* (16 kil., 417 l'*inch* carré (929 cent. car., 006). Les coefficiens de frottement raient un peu moindres pour de plus fortes pressions, et un plus grands pour de moindres pressions. Le rapport const de la pression au frottement, quoique très-près de la v loi de résistance, ne semblerait pas dès-lors exprimer cor *tement* cette loi.

CHAPITRE VI.

Plan incliné. — 79. *Equilibre d'une masse placée sur plan incliné et qui n'est supportée par rien autre qu résistance du plan.* — 80. *Equilibre d'une masse supp en partie par une autre force agissant suivant une dir tion quelconque.* — 81. *La meilleure direction de force pour qu'elle soit sur le point de donner du mouve à la masse supérieure.* — 83. *Equilibre d'un cylindre un plan incliné, — indépendant du frottement.* — La r *de voiture.*

79. Supposons (*fig* 56) qu'une masse pesante dont le cen de gravité est G, soit placée sur un plan incliné AB ; et qu demande de déterminer dans quelles circonstances cette ma sera juste au point de glisser en bas du plan.

Menons la verticale GM : toute la pression de la ma en bas peut être supposée agir dans la direction de cette li et cette pression se trouvera complètement détruite par la ré sistance de la surface du plan, quand l'angle GPQ, que G fait avec PQ perpendiculaire à la surface du plan, est ég angle limite de résistance (art. 73). Or il est aisé de v angle GPQ est égal à l'angle BAC. Une masse d nce quelconque sera donc supportée sur un plan inclin ... l'inclinaison du plan est ég ...ces en contact.

la masse, outre la résistance de la surface du plan, est (fig. 57) par une force égale au poids N, et agis- la direction Q P ; on peut déterminer dans quelles nces elle restera en repos, en prolongeant P Q jus- encontre avec la verticale G H, passant par le centre té en *a*, *a d* et *a b* étant pris pour représenter les et N. Puis complétant le parallélogramme *a b c d*, de à ce qu'il ait *a d* pour diagonale, *a c* représentera la et la direction de la force nécessaire pour supporter autres en équilibre (art. 21). Si cette direction n'est née sur A C, au-delà des limites de résistance, la essaire sera fournie par la résistance même du plan, s restera en repos. Si elle est au-delà de cette limite, ance du plan sera insuffisante pour suppléer la essaire à soutenir les deux autres, et la masse des-

irection de la force *a c* est vers le haut, la tendance se sera pour glisser vers le haut du plan, au lieu d'en : et pourvu que *a c* soit inclinée dans cette direction, limite de résistance, le mouvement sera *sur le point* ieu.

oyons maintenant dans quelle direction la force N , pour conserver l'équilibre dans ces circonstances, que la moindre force possible. Prenons *a d* (*fig.* 58) précédemment pour représenter le poids de la masse, s *a c* dans la direction limite de résistance en haut . Par *d* menons *d b* parallèle à *a c*. Alors la ligne *a b* *a* jusqu'à la rencontre de *d b*, représentera en quan- direction une force telle qu'elle maintiendra juste e (art. 21) ; car menant *d c* parallèle à *a b*, cette force s *a d* auront pour résultante *a c*, qui se trouve dans on où elle est complètement détruite par la résis-

toutes ces lignes qui peuvent être menées de *a* sur qui lui sera perpendiculaire est la plus courte. Cette donc dans la direction de la moindre force et la re- en grandeur. C'est dans cette direction qu'une force la force d'un cheval par exemple, s' avec 'avantage pour tirer la masse en hau y a une autre condition nécessaire à u'il faut que la résultante des forc

masse passe par cette portion de sa surfa
contact avec le plan (art. 55). Elle serait
point de se renverser si $a\,c$ prolongée pas
points K ou L.

83. Si le corps ne repose sur le plan que
la résultante doit passer par ce point. Supp
un cylindre *fig.* 59) dont le centre soit G,
qui lui est appliquée soit précisément celle
équilibre. Alors, puisque deux des forces n
en repos, savoir la force N et le poids de l
du corps, passent par le point G, la résistan
leur résultante, passe par le même point (a
résultante passe aussi par le point L; si de
elle agira suivant cette direction. Pour p
s'accrût, la résultante serait entraînée da
et si la masse était mobile autour de G, el
plan. L G étant un rayon du cylindre, est es
pendiculaire au plan avec lequel il est *en c*
Dans ce cas particulier, sa résistance s'exe
direction perpendiculaire à sa surface: en
ditions de l'équilibre ne sont pas affectées
des surfaces. Ainsi la roue d'une voiture,
d'obstacle à sa marche et pas de frottement
rait *remonter* un plan incliné par le moy
force, pourvu qu'elle fût un *peu plus gran*
celle nécessaire *à la maintenir* sur ce plan

84. Prenons G a pour représenter le poi
menons $a\,c$ parallèle à G P, et $c\,b$ parallèle
représentera la grandeur de la force N né
terminer l'équilibre, sur la même échelle
le poids et G c la résistance.

85. Si G P (*fig.* 59) est parallèle à A C,
a L; et à raison de la similitude des triangl
si, dans ce cas, l'on prend A C pour repré
la masse supportée, B C, à la même échel
poids N nécessaire à la supporter, et A B l

86. Si G P (*fig.* 60) est parallèle à la
inclinée; B C étant pris pour représenter le
G, A B représentera celui du poids N, à
litude des triangles G a c et A B C.

Dans le premier cas, divisant A C en

qu'il y a d'unités de poids dans G, il y aura autant dans le poids G, qu'il y en aura dans B C ; dans le as, divisant B C en autant d'unités qu'il y en a dans G, la valeur de N sera déterminée par le nombre de s dans A B.

CHAPITRE VII.

cliné mobile. — 86. *Circonstances dans lesquelles il r le point de glisser sur une masse qui est pressée lui par des forces données.* — 87. *Le coin.* — 88. *ngle ne doit pas excéder l'angle limite de résistance.* . *Circonstances dans lesquelles le coin ne peut être é par aucune pression de la masse dans laquelle il est cé par son dos.* — 90. *Exemple de l'emploi du*

supposerons maintenant mobile le plan incliné que ons considéré comme fixe jusqu'ici. La force néces-our le maintenir en repos est égale et opposée à la ré- qu'il supporte ; c'est-à-dire qu'elle est egale à la force 58) et suivant la direction S a.

Supposons que toutes les forces qui agissent sur une d (*fig.* 61) ont pour leur résultante une force agissant direction P Q. Prolongeons P Q jusqu'en m, m pour représenter la force résultante. Une f ée en quantité et en direction par m Q main le plan en repos. Menons Q n perpendiculaire es représentées par $m\,n$ et n Q sont alors équiva représentées par m Q. Donc elles maintiendrai repos. Mais s'il repose par sa base A B sur un ntal, la force verticale $m\,n$ sera détruite par la r le ce plan. Pour maintenir le plan incliné en re qu'il faut dès-lors, en supposant le plan A B

frottement, c'est à appliquer en *n*, dernièr
n n', représentée en grandeur et en directio

L'angle que P Q fait avec la perpendiculai
face du plan, sera toujours égal à l'angle mn
quelle que soit la force *n' n* appliquée dernier
que la force P Q soit détruite par la resist
masse fixe dont M forme une partie, ou co
aboutisse; et pourvu que la direction de *n* Q
limite de frottement en Q. En effet il est
direction de *n* Q eût été *dans* la limite de
tance, cette force eût été complètement detr
tance de la masse M, en sorte que P Q et *n* Q
la même ligne droite, et qu aucune réaction
lequel pose le corps n'eût été necessaire à l'e
cette force *n* Q est *en dehors* de l'angle lim
en Q, en sorte que la résistance de N soit
pour le soutenir, il ne faudra que la plus f
plan A B pour la rendre suffisante, ou po
n Q une résultante *m* Q, qui soit juste dans
pensable.

Si la force *n' n* s'accroît assez pour que
vienne plus considérable que toute résistance
ou celle dont elle fait partie, puisse fournir
détruit, et le plan se mouvra dans la d
réaction du plan A B cessera, et par l'action
dont la direction est supposée dans l'angle
tance, et qui est la seule qui agisse mainte
plan glissera sur la surface de M, jusqu'à c
vienne de nouveau en contact avec le plan
est employée de cette manière, l'action du
ment semblable à celle du coin.

87. *Le coin.* Soient M et M' (*fig.* 62), les
lide pressé sur les faces d'un coin C A C
égales agissant dans des directions P Q e
Q *m* et Q' *m'* pour représenter ces forces,
les en *n m*, Q *n*, et *n' m'*, Q *n'*. Parmi ces co
n' m' sont égales et agissent sur le coin en di
Elles se détruisent donc l'une par l'autre.
Q' *n'* sont détruites par une force R, appliq
lairement sur le milieu du dos du coin et ég
après l'article dernier, on voit que les di

dans ces circonstances, avec la perpendiculaire AC et A' C', des angles égaux aux angles li-
istance ; de plus, que lorsque les forces *m* Q et
nt à excéder les résistances en M et M', le coin
nt, et produit une séparation nouvelle du solide
l entre.

ions au cas d'une masse amenée en contact avec
un plan incliné par la résistance d'un obstacle in-
. Soit R Q S (*fig*. 63), un angle égal à celui du
Menons Q P parallèle à la base du plan. Alors si
; devenait plus grand que R Q P, la direction de
; l'angle de résistance, et aucune force, quelque
le soit, appliquée au dos du plan, ne peut le faire
la masse M.

R Q P est égal à l'angle A C B. Le plan ne peut
nouvoir si l'angle limite de résistance excède celui
:c la verticale.

isons maintenant le coin poussé, et considérons
que la substance dans laquelle il est poussé doit
ses côtés pour le chasser dehors.

fig. 64), la direction de la résultante des forces
la face A C', laquelle étant propagée à travers
coin tend à faire glisser la face A C sur la surface
elle est en contact. Menons Q R perpendiculaire
en ce point. Alors si P Q R n'est pas plus grand
imite de résistance, aucune force que la masse
le coin est entré puisse avoir pour le chasser,
à bout.

on comprenne très-bien comment une substance
un coin est enfoncé, puisse opposer une *résis-*
s sens à son mouvement en avant, il est difficile
lre comment cette substance exercerait un effort
her, et pour le chasser, autrement que suivant
perpendiculaire aux côtés du coin, surtout si
ure fibreuse.

alors supposé perpendiculaire à A C', l
égal à P Q R. Dans cette hypothèse, donc, s
n'est pas plus grand que l'angle limite de r
itera fixé ferme dans la substance où il est

propriété du coin le rend éminemment utile

charpenterie; l'application suivante est une
nombreuses qu'on en fait. Supposons qu'on
deux pièces de charpente A B et A' B' (fig.
raison d'économie, ou pour éviter la ruine
rouille, on ne veuille pas se servir de boul
çonnons dans chaque pièce deux mortaises
$a c e' a'$ et $b c e' b'$, de grandeurs égales à leur
mités. Réunissons les pièces, ces extrémit
coïncideront. Ayons deux pièces de bois dur,
$a c b$ (fig. 66), dont la face $a c b$ corresponde
la fig. 65, mais dont l'extrémité superieure e
étroite que b. Plaçons ces deux morceaux da
les forces correspondantes coïncident. L'es
entr'elles aura la forme d'un coin, à raison d
sus en est plus étroit que le dessous. Chass
dimension convenable. Si l'angle du coin est
cune force exercée sur les côtés ne pourra l
quemment aucune force possible ne pourra
pièces de charpente. Cette méthode est en us
pour assembler les pièces des immenses char
de bois qu'on y construit.

91. Il n'est pas d'instrument dont les ap
plus nombreuses que celles du coin. Les clo
aiguilles, les haches, les sabres, etc., etc., on
dée sur le principe du coin. Comme exemple
sance du coin, on peut dire que les vaiss
sont sur chantier, sont aisément lancés à l'
sont chassés sous leurs quilles.

Un ingénieur qui avait construit une hau
minée pour un fourneau, s'aperçut, après
que par la faute des fondations elle commen
Il réussit à la remettre d'aplomb en chassan
l'un de ses côtés (1).

(1) La puissance énorme du coin tient surtout
foncé par *impact*. La résistance sur ses côtés est
pression; et l'on verra, dans la suite de cet ouvrage
le *moment d'impact* pour une force de choc, qu
soit. La séparation momentanée de la masse est
[illegible] avant du coin.

2. La résistance au mouvement d'un coin dépend non-
lement de l'angle à son sommet, mais de la profondeur à
ielle il est entré, et conséquemment de l'étendue de la
ace par laquelle il est pressé ; elle dépend en outre de la
tité dont les particules de la masse sont déplacées. En ef-
raison de leur élasticité, ces particules tendent à se rap-
ier avec une force proportionnelle à leur déplacement.
par cette raison qu'un coin est enfoncé avec difficulté,
il est entré profondément.

coin ACC' (*fig.* 67) étant entré par l'action de la force
qu'à une certaine profondeur dans la masse MN ; sup-
qu'une seconde force Q lui soit appliquée, sa position
t restant d'ailleurs la même. Cette force Q pressera la
AC contre la masse entre M et M', et si elle est suf-
elle éloignera cette masse, en sorte que le sommet du
contrera une nouvelle surface M'N', parallèle à MN,
a entrer ainsi que l'avait fait précédemment la force
lieu d'agir séparément, les forces P et Q agissent en-
l'effet sera précisément le même, leurs directions
pendiculaires l'une à l'autre. Telle est la théorie de
dinaire. Elle est formée d'une série de coins de ce
oupés sur le bord d'une feuille d'acier mince, et tend
ement par son poids à enfoncer les pointes de ces
la substance où on la fait travailler, tandis que son
it longitudinal présente continuellement une surface
leur action. Quand les dents sont petites, les por-
atière entre chaque système de deux dents sont
la force nécessaire à leur mouvement est consé-
aible. Aussi les scies à grandes dents s'emploient
s substances tendres, et celles à petites dents pour
nt dures.

t des instrumens tranchans agissent comme la
rités de leur tranchant, formées par l'aiguisage,
me des coins. Les faux, les couteaux, les sabres,
e ce genre ; seulement les dents du tranchant
à distinguer à la vue simple.

e sciage des pierres, on ne se sert que d'une
de métal doux ; les petites p
ierre, ou la poussière de qu
y mêle par l'action de la lame

son mouvement de va et vient sur la pierre, agissei
comme autant de coins. Les pierres les plus dures s
par ce moyen, et pour le granit on emploie l'émeri.

Pour tailler le verre, on mêle de l'émeri à l'eau
travaille avec une roue à bord tranchant ayant un
ment rapide; pour la taille des pierres précieuses, c'
poussière de diamant que l'on mêle à l'eau sur la point
tige de fer doux tournant sur son axe avec une gra
tesse. Les cristaux ou les gemmes à tailler, sont alors
contre l'outil qui les coupe avec une étonnante facilit
à raison des petits coins que fournissent et la poussiè
ployée et celle qui se forme par la taille.

Les limes sont ordinairement des barreaux d'acie
les surfaces sont armées de petits coins, et dont l'ac
précisément la même que celle de la scie.

Le rabot n'est autre chose qu'un coin qui, au lieu
des dents comme une scie, dans une feuille de métal
est d'une grande épaisseur et a son axe faiblement
ce qui fait que le tranchant pénètre dans la substanc
boter. Son action est précisément analogue à celle de
d'une scie.

CHAPITRE VIII.

Levier. — 95. *Conditions de son équilibre.* — 96. *Réact de son point d'appui.* — 97. *Applications du levier.* 99. *Effet du poids du levier.* — 100. *Balance romai* — 101. *Peson.* — 102. — *Balance danoise.* — 103. *Bala ordinaire.* — 104. *Balance dont on se sert pour déterr ner l'étalon de poids.* — 105. *Balance à levier cour* — 106. *Leviers composés.* — 107. *Machine à peser bascule.* — 108. *Point d'appui d'un levier.* — 109. *A d'un Levier.* — 110. *Roue de voiture.*

Le levier est une barre inflexible qui repose par un po contre un obstacle invincible et soutient une force appe *résistance*, à l'une de ses extrémités, par l'action d'une tre force nommée *puissance*, appliquée à l'autre extrémit

94. Il y a trois espèces de leviers.

Dans celui de la première espèce (*fig.* 68), la puissa P et la résistance R sont appliquées sur les côtés opposé partir du point d'appui C.

Dans celui de la seconde espèce (*fig.* 69), la résistanc est entre la puissance P et le point d'appui C.

Dans celui de la troisième (*fig.* 70), la puissance P est e tre la résistance R et le point d'appui C.

95. Dans tous ces leviers, si on les regarde comme n'ay pas de poids, l'équilibre dépend de la simple loi que voi

La puissance multipliée par la perpendiculaire abaissée point d'appui sur sa direction, doit être, pour qu'il y équilibre, égale à la résistance multipliée par la perpendic laire abaissée du point d'appui sur sa direction. Cette loi déduit aisément du principe général que nous avons é (art. 35), et que voici :

« Quand un nombre quelconque de forces, agissant le même plan, sont en équilibre, si l'on prend un

quelconque par rapport auquel on compte
des différentes forces du système, la somme
forces qui tendent à faire tourner le systèm
autour de ce point, est égale à celle des m
qui tendent à le faire tourner dans l'autre s

Dans chacune des espèces de leviers d
parlé, prenons le point d'appui, pour le p
auquel les momens doivent être comptés ;
pendiculaires C M et C N, du point d'app
directions de la puissance et de la résistan
principe de l'égalité des momens, il en résu
que espèce de levier, la même loi d'équilib
R × C N.

Il est évident, d'après cela, que lorsque
que C M, R est plus grand que P, ou la résist
que la puissance, et cette inégalité peut
qu'on le veut en diminuant la perpendicu
l'on peut augmenter la résistance qu'une p
produira dans une étendue quelconque, en d
de levier auquel elle est appliquée, ou rappr
tion de plus en plus du point d'appui. Dans
première et de la seconde classe, la résista
nairement la puissance; dans ceux de la tro
est moindre que la puissance.

Il existe une erreur populaire prenant sa
fait, et qu'il est bon de remarquer. On cr
tervention du levier, la plus grande résistan
tre-balancée par la moindre puissance. I
ainsi. Une force plus grande ne peut, dans
stance, être détruite par une force moindre.
par le moyen du levier, une portion de
supportée par le point d'appui, le tout se

(1) Le levier est tenu en repos par *trois* forces;
sissons le point d'application de l'une d'elles pour le
auquel on mesure les momens, nous avons fait dis
de cette force, puisque la perpendiculaire sur sa di
le produit de la force par cette perpendiculaire s
choisissant le point C, le principe d'égalité des mo
P et R un rapport *indépendant* de la réaction
Si nous eussions pris un autre point, ce rapport e
de cette réaction que nous avons supposé ne pas co

lui d'application de la puissance. La même re-
ique aux différens cas où, par l'emploi d'une
; moindre force arrive à en tenir une plus
uilibre.

› dans chacun des cas le levier est maintenu
trois forces, à savoir, la puissance, la résis-
·éaction du point d'appui, il s'ensuit que les
:es trois forces doivent concourir en un même
; . Dans chaque genre de levier, le point de
a puissance et de la résistance est en Z (*fig*. 68
rs la direction de la troisième force, qui est
levier, se trouve en ce point; or elle passe
C, dans tous les cas; donc en joignant ZC,
liquera la direction de la réaction. Pour en dé-
valeur, abaissons de l'une des extrémités A
›erpendiculaires, l'une sur la direction de la
émité opposée, et l'autre sur Z C. Dès-lors,
ıcipe de l'égalité des momens, le produit de la
pendiculaire par la force est égale au produit
r la réaction du point d'appui; par conséquent
iculaires B K et B L partant de B (*fig*. 68),
(B K = (réaction en C) × B L.
deux conditions ainsi établies, on peut aisément
problèmes suivans.

ısant la quantité et la direction de la force ap-
e des extrémités d'un levier, déterminer celle
appliquée à l'autre extrémité opposée, juste
›-balancer.

ısant les forces appliquées au bras d'un levier,
·ession sur le point d'appui.

nditions que nous avons établies déterminent,
it la forme du levier, le rapport d'égalité des
t vrai, les conditions d'équilibre pour des sys-
ne quelconque.

›eut être angulaire comme celle des mouvemens
(*fig*. 71); courbe comme celle d'une pince
d'une manivelle, ou composée comme celle du
inaire. Dans la pince (*fig*. 72), la puissance est
r la main; le point d'appui est quelque substance
ıquelle s'engage la partie courbe de la pince,
ıce *est le poids* à soulever.

Le levier coudé s'applique avec succès à la scie à l
mue par mécanique (*fig.* 73); un levier B A C est fixé par
joint au barreau C D qui s'attache à la scie en D. La pu
sance est appliquée en P, dans la direction B P; le p
d'appui se trouve en A, et comme C doit marcher vers
point et s'en éloigner alternativement, la scie a ce mou
ment de va et vient.

Une paire de tenailles dont on se sert pour arracher
clou, combine une double action du levier. Les deux l
étant sollicités à leurs extrémités par des forces représen
chacune par P (*fig.* 74), saisissent le clou en R, avec
force d'autant plus grande que A R est moindre par r
port à AM, ou telle que $P \times AM = R \times RA$. La
naille agit encore pour tirer le clou d'après le principe
levier dont le point d'appui est C; si l'on tire dans la di
tion de la résistance du clou et dans la direction où la pres
de la main tend à le forcer par en bas, suivant les perpend
laires C N et C N'; cette dernière force sera moindre
la première dans le rapport suivant lequel C N' est moin
que C N.

Les ciseaux, cisailles, pincettes, tisonnier, fléaux de
lance, etc., etc., sont des leviers de première classe, ay
la puissance et la résistance des deux côtés du p
d'appui.

Les machines suivantes appartiennent à la seconde cl
des leviers, ayant la puissance et la résistance du même
du point d'appui, mais la puissance en étant plus éloigné

La brouette — dans laquelle l'axe de la roue est le po
d'appui; le poids de la brouette et le fardeau composent
résistance; la force musculaire de celui qui la mène est
puissance. La rame d'un bateau — pour laquelle l'obsta
de l'eau au mouvement de la pelle de la rame, forme
point d'appui; la résistance est la charge du bateau, et
puissance la force musculaire du rameur. Ainsi la force av
laquelle le bateau marche est à celle exercée par le rameu
comme la distance du milieu de la partie de la rame plo
gée dans l'eau au point où il tient la rame, est à la distan
du même point au flanc du bateau. Les casse-noisettes o
dinaires sont des exemples du même genre, le point d'ap
pui étant dans la charnière, la résistance dans la coquille

, et la puissance dans la main de celui qui fait
e casse-noisette.

isième classe de leviers, dans lesquels la puissance
uée entre le point d'appui et la résistance, appar-
s reins des animaux. Les points d'appui sont dans
es, la puissance dans les muscles qui l'exercent
vention des tendons, dont les attaches sont très-
points d'appui et les directions très-obliques à
·eins; arrangement indispensable pour en conser-
dité et la symétrie. On voit dès-lors que la per-
re menée du joint sur la direction du tendon, est
nent très-petite, et qu'en conséquence la puissance
: pour soutenir même le poids des reins est énor-
rande.

› musculaire animale est probablement l'une des
es forces qui existent. Le grand Albatros a une
telle à ses ordres, qu'agissant dans une direction
distance perpendiculaire du joint à l'extrémité
n'est guère que d'un centimètre environ, il peut les
plus de quatre mètres, et en frapper fortement
int qu'elles sont ainsi étendues.

;alement à cette troisième classe qu'appartiennent
eviers dans lesquels un petit mouvement de la
en produit un plus grand dans la résistance, et
iels la puissance est moindre que la résistance. Le
ed du tour, une paire de pinces, ou l'ancienne
iseaux à tondre les moutons, en sont des exemples.
a puissance et la résistance sont toutes deux per-
res aux bras du levier (*fig.* 75 *à* 77), les perpen-
sur leurs directions, à partir du point d'appui,
distances mesurées par le bras de levier lui-même,
litions d'équilibre se réduisent alors aux suivantes :
puissance et la résistance étant chacune multipliée
ance de son point d'application au point d'appui,
ts soient égaux ; ou que

$$P \times CA = R \times CB.$$

ssion sur le point d'appui est évidemment égale à
de la puissance et de la résistance, quand elles agis-
leux côtés, comme dans les leviers de la première
uand elles agissent du même côté, comme dans les

leviers de seconde et de troisième classe, ell
différence.

99. Nous avons considéré jusqu'ici les fo
le levier, comme n'étant qu'au nombre de
puissance, la résistance, et la réaction du p

Le levier cependant est en réalité soumis
fini d'autres forces, dans le poids de chacu

On a vu que leur influence sur l'équilibr
précisément la même que si elles étaient
blées au centre de gravité. Soit W (*fig.*
posé rassemblé au centre de gravité G d
levier, outre les forces P et R en A et B,
par une troisième force W, verticale en
perpendiculaire sur cette verticale qui passe
nécessaire pour l'équilibre, que les mome
soient ensemble égaux à celui de R (art.

$$P \times CM + W \times CK = R$$

Il est évident que le poids du levier au
nue la résistance, suivant que le centre
l'autre côté du point d'appui qu'elle, ou
est évident aussi que si le levier est fait de
centre de gravité tombe précisément au
ou le fasse osciller librement sur ce point,
aucune influence sur l'équilibre, et pourr
pas exister.

100. *Balance romaine.* — Tel est le ca
maine, ou peson italien (*fig.* 79). Un plateau
au bras du levier le plus court, ce bras es
sant pour maintenir tout le système en éq
d'appui F. L'effet du poids de la balance
lisé. Le bras le plus long est divisé en p
cune à la longueur du bras le plus court
tre des subdivisions. Un poids P, mobile
de levier, y est suspendu au moyen d'un
que ce poids est placé sur la première, la
sième, etc., etc., des divisions du bras de
ment est évidemment égal à celui du mê
plateau, ou bien au double, au triple, etc
il contre-balance un poids égal, double ou
le plateau. Supposons que les subdivisions s

ne d'elles sur lesquelles le poids P sera porté, à partir étant égale à un dixième de FB, accroîtra son moment dixième de P × F B. Pour conserver l'équilibre, le nt du poids dans le plateau doit s'accroître de la même ité, tandis que la distance F B reste la même ; conment le poids lui-même doit s'accroître d'un dixième auquel cas le moment s'accroîtra d'un dixième de P 3, ainsi qu'il le faut. On voit dès-lors que si l'on fait ir P d'une fraction quelconque des divisions ou subns, le poids dans le plateau devra s'accroître d'une fraction de P, pour que l'équilibre ne soit pas trout qu'en conséquence on peut peser tout article mis e plateau, à l'aide de l'échelle des divisions ou des isions, ou même d'une quelconque de leurs fractions.

. *Peson.* — Celui actuellement en usage (*fig.* 80) diffère i de la romaine. Il a deux points d'appui, par lesquels il tre indistinctement suspendu, et deux échelles de dis qui leur correspondent en partant de chacun des côposés du long bras. Cet instrument est rarement fait s'équilibrer de lui-même sur l'un ou l'autre de ses d'appui ; l'erreur qui résulterait de l'action inégale poids, se corrigeant en commençant les divisions à du point où le poids P équilibre lui-même l'instru- Les divisions y sont aussi des parties égales à la disdu point d'appui au crochet de support des objets à et les subdivisions en sont des fractions égales.

st évident que puisque P, quand il est au commence- les divisions, ou bien au zéro de l'échelle, détermine é des momens de l'un ou de l'autre côté du point i ; il faut, quand on le meut, lui faire équilibre par ls suspendu au crochet et qui soit la même fraction même multiple du poids, que l'espace parcouru sur du levier l'est des subdivisions ou des divisions de e. Chaque division ou subdivision du grand bras cor- l ainsi à un poids égal au même multiple ou à la fraction du poids mobile, que cette division ou subn est multiple ou fraction du petit bras.

Balance danoise (*fig.* 81). — Elle diffère du peson, ue c'est son point d'appui qui est mobile, et non plus s. Sa construction est plus simple que celle de toute alance, car ce n'est qu'une verge portant un poids à

[illegible] le [illegible] de [illegible] [illegible] 31 i
[illegible] [illegible] est [illegible] par la [illegible]
[illegible] a été [illegible]

Le [illegible] [illegible] [illegible] à la [illegible]
[illegible] est [illegible] de [illegible], [illegible] forme [illegible]
[illegible] solide qu'il [illegible] avec [illegible]

Le fléau est percé [illegible] au centre de g[illegible]
[illegible] ouverture est logée transversalement une
de bronze L, dans laquelle est une pièce d'acier
[illegible], qui [illegible] le couteau [illegible], dont [illegible]
[illegible] fig. [illegible], [illegible] garnit complèt[illegible]
[illegible] du fléau. Le couteau est [illegible]
[illegible] à la surface du fléau, au moyen de vis
dans la figure, et de manière à pouvoir glisser
centre de gravité de la balance, à l'aide de [illegible]
[illegible] pas dans la figure.

Passant par la même ouverture, mais [illegible]
[illegible] du fléau et reposant sur les colonnes [illegible]
se trouve une autre masse de bronze, sur laquel[illegible]
plaque d'acier M, traversant le fléau et suppo[illegible]
fléau sur toute sa longueur.

Quand la balance est en action, cette plaqu[illegible]
tout le poids et celui des masses à peser, [illegible]
fléau est le point d'appui sur [illegible] [illegible] le [illegible]

dit cette balance la plus sensible de toutes, parce
indre inégalité de poids cause la plus grande dévia
orizontalité du fléau. Or cette déviation est évidemm
grande, d'abord suivant que la distance de A B où le po
amené par l'inégalité des poids est plus grande, et q
gueur du fléau est plus considérable. Ensuite cette d
n est d'autant plus grande que le point K', intersectic
B avec SS' qui joint les points de suspension, est plu
ite de F (1). La déviation est d'autant plus grande enfin
e poids du fléau agissant en G est moindre et que ce
est plus près du point d'appui. Le point K est ordi-
ment amené à une coïncidence parfaite avec F, quand
lance n'est pas chargée, la ligne qui joint les points de
nsion passant par le point d'appui. Le point G se met
u en dessous du point d'appui. On peut se demander
arrangement est le meilleur.

voit que, dans la position horizontale du fléau, s'il est
trique, le moment de son poids réuni en G disparaît,
u'il agit suivant la verticale AB passant en F. Le fléau
ut donc rester dans cette position, qu'autant que les
ns des poids agissant en S et S' sont égaux; ou si les
ces KS et KS' sont égales, qu'autant que les poids eux-
sont égaux. Une telle balance indiquera donc parfai-
si les poids placés dans les plateaux sont égaux, et ce
e bonne balance.

leurs si les distances K S et K S' sont inégales, le fléau
ra rester horizontal qu'avec des poids inégaux dans les
; et quoiqu'il reste bien en équilibre quand il n'y a
oids dans les plateaux, ce sera une fausse balance.
cependant s'en servir pour peser aussi bien qu'avec
, si après avoir placé dans l'un des plateaux des
qu'ils fassent équilibre à l'objet à peser dans l'au-
nlève et qu'on observe quels poids placés dans ce
où on l'a enlevé rétablissent l'équilibre; ce dernier
précisément celui de l'objet à peser, et cette mé-
double pesée, est peut-être la plus exacte de toutes

évation des points de suspension sur le
excéder certaines limites au-delà des
de *poids renverserait* le fléau.

celles qu'on peut employer pour s'assurer du poids d'un ob-
jet quelconque.

104. Il y a peu de machines usuelles d'une construction plus difficile qu'une bonne balance; surtout quand elle est destinée à p[illegible]er de lourdes masses. La combinaison de sa solidité et de [illegible]n ajustage exige une grande habileté de la part de l'artiste.

La *fig.* 84 représente une balance faite par M. *Bate* pour déterminer le poids de l'étalon *Bushel* (30 litres, 280), et cette balance est remarquable par la combinaison de son ajustage et de sa solidité.

La légèreté ét[illegible]elle [illegible]a sensibilité de la balance, le fléau est fait [illegible] forme qu'on lui a donnée le rend plus solid[illegible] ne l'[illegible]té avec plus de masse.

Le fléau est percé près de [illegible] centre de gravité, et dans cette ouverture est logée transversalement une masse solide de bronze L, dans laquelle est u[illegible] pièce d'acier poli en forme de coin, qu'on nomme couteau [illegible]1), dont la section est re-[illegible]ésentée en F (*fig.* 85), et qui garnit complètement le tra-[illegible]rs du fléau. Ce couteau est soigneusement ajusté à angles [illegible]roits à la surface du fléau, au moyen de vis que l'on voit dans la figure, et de manière à pouvoir glisser au-dessus du centre de gravité de la masse, à l'aide de vis de rappel qu'on ne voit pas dans la figure.

Passant par la même ouverture, mais entièrement déta-chée du fléau et reposant sur les colonnes C C' d'un autre côté, se trouve une autre masse de bronze, sur laquelle est fixée une plaque d'acier M, traversant le fléau et supportant le cou-teau sur toute sa longueur.

Quand la balance est en action, cette plaque en supporte tout le poids et celui des masses à peser, tandis que le cou-teau est le point d'appui sur lequel oscille le tout.

Dans la traverse que supportent les colonnes C C' et qui porte la plaque d'acier M, est une ouverture dans laquelle passe

(1) On avait cru d'abord que le tranchant du point d'appui était es-sentiel à la sensibilité d'une balance, et c'est pour cette raison qu'on se servait souvent de couteaux très-minces pour points d'app[illegible] [illegible] a prouvé depuis qu'un angle assez considérable pouvait ê[illegible] [illegible] du point d'appui, sans empêcher l'oscillation, et ave[illegible] [illegible] ne pas s'endommager si facilement.

une pièce de bronze en forme de fourche N qui fait pai de l'assemblage D E D', entièrement détaché du fléau qua la balance fonctionne, mais qui peut l'élever par le mou ment du pied H, de manière à ce que la fourche en N attei une pièce saillante L dans la masse qui porte le couteau qui est fixée dans le fléau. En continuant le mouvement pied H, le fléau et avec lui le couteau peuvent être soule de la plaque sur laquelle ils reposent, en sorte qu'on évite fatigue de pressio *continuelle* sur le couteau.

Sur des pièces saillantes aux extrémités du fléau, et p cisément à égales distances du point d'appui, sont fixés travers du bras supérieur deux autres couteaux F' (*fig.* 8 semblables au premier, à angles droits au plan de la surface. sont ajustés de même, mais leurs tranchans sont *par en ha* Les plateaux sont attachés chacun par un crochet à une pi représentée en S' et composée de deux parties, dont chacu en forme d'étrier, reçoit l'extrémité du fléau, et s'y lie en des par une plaque d'acier M', qui repose sur le tranchant couteau; tandis qu'elle porte en dessous une traverse où s' croche le plateau. On a ainsi la suspension parfaitement ex du plateau sur le fléau, et d'où dépend surtout la sensibi de la balance; avec l'inclinaison du fléau, n'arrive pas la volution simultanée des deux plateaux autour de leur s port; l'effet de l'extrémité montante du fléau est le même le plateau que s'il était suspendu à une distance beauc plus grande de son point d'appui que son point actuel suspension; l'effet de l'extrémité descendante du fléau es même sur le plateau que s'il était suspendu à une dista bien moindre. Ces deux causes existant toujours à la f même à un faible degré, tendent à empêcher le mouvemen fléau et peuvent affecter sérieusement sa sensibilité.

L'assemblage D E D' porte à ses extrémités deux fo chettes de bronze N', semblables à celles en L, de chaque du fléau. Quand l'assemblage est à son point le plus bas, fourchettes sont à quelque distance du fléau et le laissent ciller librement; mais quand l'assemblage s'élève par l' du pied H, elles atteignent les pièces saillantes L' et L'' les étriers, et soulèvent les plaques qui les portent du cou sur lequel elles reposent. Les couteaux sont ainsi mis à l' de tout dommage *quand la* balance ne fonctionne pas,

plateaux sont soulagés avant que les poids qui les charge ne soient retirés, ce qui apporte de grandes facilités da l'usage de cette balance (1). L'ajustage des couteaux da leurs positions convenables se fait par des vis de rappel q se meuvent horizontalement ou verticalement. Celui du co teau dans le milieu en un point immédiatement au-dessus centre de gravité du fléau, qui est le plus difficile, est fac lité par le moyen de petits contre-poids vissés sur des f métalliques représentés dans les figures comme faisant sail horizontale aux extrémités du fléau. En les vissant plus p ou plus loin du point d'appui, on obtient un très-faible mo vement correspondant du centre de gravité du fléau, jusq ce qu'il arrive à la position voulue par rapport au poi d'appui.

105. *Balance à levier courbe.* — Un levier courbe A (*fig.* 87), portant un poids à son extrémité C, et à son e trémité A un crochet soutenant un plateau, est mobile s un axe B. Il est évident que le moment du bras BC va avec la perpendiculaire BD à la direction du poids C, par conséquent avec l'inclinaison de BC. Chacun des po différens placés dans le plateau produira donc un équilib dans quelque nouvelle position de BC. Ces positions corre pondantes à différens poids peuvent être déterminées p expérience ou calcul, et marquées sur un rapporteur FG, indiquant toujours le poids du plateau.

106. *Leviers composés.* — On peut faire agir des levi *l'un sur l'autre*, et augmenter ainsi tant qu'on veut la pu sance d'un système.

Soient (*fig.* 88) AP' et BP'' deux leviers agissant aut des points d'appui F, F''; sur leurs extrémités plaçons-en troisième P' P'' dont la résistance des points d'appui F' s dans une direction opposée à celle des autres. Une puissa P appliquée en A produira en P' une résistance d'autant pl grande, que AF sera plus grand que P'F; cette résistan

(1) M. *Bate* vient d'ajouter un perfectionnement à cet ajusta Le fléau et les plateaux sont d'abord suspendus sur des axes cylind qu[illegible] par le mouvement du pied H, ils arrivent sur les couteau [illegible] facilité de mettre le poids dans les plate[illegible] à la balance cette extrême sensi [illegible]ile,

agissant, comme puissance, sur le levier P' P'', produira une résistance en P'', ou une puissance sur le levier P'' R, d'autant plus grande en P', que P' F' est plus grand que P'' F' ainsi, par une suite de leviers, la résistance qu'une puissance donnée peut produire, s'accroîtra indéfiniment.

Deux leviers de première et de seconde classe sont joints quelquefois par une verge P'R' (*fig.* 89); la résistance R', prolongée en P' par l'action de la force P, est telle que

$$P \times PF = R' \times R'F$$

et la résistance produite en R, par l'action de R' prolongée en P', est telle que

$$R' \times P'F' = RF' \times R$$

d'où, en multipliant ces deux équations l'une par l'autre, et éliminant le facteur commun R', on tire

$$P \times PF \times P'F' = R \times R'F \times RF'$$

et l'on en conclut la puissance nécessaire à produire une résistance donnée, ou réciproquement.

Les leviers dont on se sert pour ôter les roues d'une voiture, en élevant l'essieu, sont de ce genre.

107. *Machine à peser ou bascule.* — Une combinaison très-ingénieuse de leviers sert à peser les voitures. Une plate-forme de grandeur suffisante pour que la voiture y puisse reposer, est supportée à ses angles par un système de quatre leviers dont les points d'appui sont fixes dans une maçonnerie solide, à peu de distance des points angulaires, et qui convergent suivant les diagonales du rectangle de la plate-forme, vers son point central. Ils reposent sur un autre levier, dont le point d'appui est à peu de distance de ce point de convergence, et qui passe sous la plate-forme, son extrémité opposée se rendant dans le bureau du peseur.

Supposons que la distance du point où chacun des angles de la plate-forme repose sur un levier convergent, au point d'appui de ce levier, soit un dixième de la longueur du levier; supposons encore que la distance du point d'appui d'un grand levier au point où il supporte les extrémités des petits leviers, soit un dixième de la distance du point d'appui à l'extrémité du levier dans le bureau du peseur; suppos[ons] enfin qu'un poids de 4000 étant mis sur la plate-forme,

que extrémité en supporte le quart ou 1000; et aussi qu'i poids de 1000 appliqué à chaque point de chaque levier co vergent, où il supporte la plate-forme, soit tenu en équilil par un poids de 100 appliqué à celle de ses extrémités qui au centre de la plate-forme; le tout sera représenté par poids de 400 au centre de la plate-forme, et cette pressi étant transmise à l'une des extrémités du grand levier, se équilibrée par un poids de 40 à l'autre extrémité de ce levi dans le bureau du peseur. Ainsi un poids de 40 suffit po peser un fardeau du poids de 4000.

108. *Points d'appui des leviers.* — Le point d'appui d levier (*fig.* 90) est ordinairement fait en forme de pris triangulaire et soutient la pression sur un de ses angles, n'o posant dès-lors aucune résistance appréciable au mouveme du levier autour de ce point. Il fait partie du levier et rep sur des plans horizontaux fixés dans un montant à chacu de ses extrémités, ou comme dans la balance de l'art 104, le pénètre, ou bien il est fixé de support à la surface du levi sur un plan qui la traverse. Nous avons supposé jusqu'ici qu le point d'appui fournissait une réaction égale et opposée à la résultante des forces sur le levier, dans chaque position qu'il est fait pour prendre; mais ceci n'est vrai que dans certaines limites. Si la résultante fait avec la perpendiculaire, à la surface sur laquelle agit le point d'appui, un angle plus grand que l'angle limite de résistance, il est clair qu'il glissera sur cette surface et que l'équilibre sera détruit.

Cette condition détermine les cas d'équilibre, possibles, suivant les circonstances décrites dans les propositions précédentes, et dans d'étroites limites comparativement.

109. Si l'on voulait étendre ces limites, il faudrait, par quelque disposition mécanique, empêcher la tendance du levier à glisser, dans certaines circonstances, sur son point de support. Pour y parvenir, le point d'appui peut être changé, au lieu d'un prisme triangulaire, en un cylindre, et au lieu de rester sur un plan, il peut être fait pour rester sur la surface intérieure d'une ouverture cylindrique, dans la masse destinée à soutenir sa réaction. Ainsi confectionné, il devient un axe de rotation. Cet axe, comme le point d'appui, peut être fixé au levier et inséré à chaque extrémité ... saillie d... lonne de support, ou bien il peut être fixé ...pports et inséré dans le levier. On ve

'e disposition a de grands avantages sur l'autre.
n gagne évidemment ainsi l'avantage d'une po-
te du point de support, quelle que soit la po-
ır, ou quelles que soient les forces qui agissent
rd l'entière liberté de rotation que donne l'au-
. On le comprendra facilement. Quand les sur-
et de son support sont en contact, en un seul
dans le cas du point d'appui triangulaire, il est
:cessaire à l'équilibre que la résultante des for-
:itent, passe par ce point; autrement la réaction
i a lieu seulement alors ne pourrait soutenir
; et le levier ayant été ainsi placé en équilibre,
altération des forces qui le sollicitent, chan-
on de leur résultante, serait suffisante pour en-
vement de tout le système. Dans l'autre cas,
ı support sont en contact suivant toute la sur-
rture cylindrique ou de la douille, et si la ré-
ırces agissant sur le levier passe par cette sur-
soutenus, quelle que soit la direction de cette
ırvu seulement que cette direction ne fasse pas,
diculaire à la surface, un angle plus grand que
le résistance. Ainsi (*fig.* 91) si PE est la di-
résultante et que l'on joigne CE (C étant le
, et CP la perpendiculaire à sa surface), cette
a soutenue par la réaction du support, quelle
:ection, pourvu seulement que l'angle PEC
jue l'angle limite de résistance. Il suit de là
agissant sur le levier peuvent être infiniment
ertaines limites, tant en quantité qu'en direc-
ire tourner. Plus grande est la longueur du le-
nde est la distance dans laquelle une varia-
e forces agissant sur lui peut faire mouvoir
, la moindre étant donnée par les limites dans
variation est praticable. On a supposé ici que
de l'axe restent les mêmes. Il est évident qu'en
dimensions, on peut resserrer les limites pos-
squelles une variation des forces ne produit
ıent correspondant du levier dans une certaine
à-dire que l'on peut diminuer, autant qu'on le
du frottement de l'axe.

des voitures. — Nous sommes en me

d'après ce qui précède, d'expliquer la thé
roue de voiture.

Supposons qu'au lieu d'être mobile aut
à son centre, elle fût mobile autour d'un
mètre presque égal au sien, en sorte que
réalité un même anneau enveloppant son ax
que le frottement sera le même que si la r
traînée sur une route de même matière que
avons fait ressortir la différence qu'il y a
d'un axe de ces dimensions et un axe plus pe
d'une voiture, et la même différence exis
ment d'une voiture traînée sans roues ou à
celui d'une voiture roulant en liberté sur s

Dans les obstacles, la roue fait fonction d
mière classe (*fig.* 92). Soit A l'obstacle,
traction, C R une verticale passant par C
agissant sur la roue sont la réaction de l'
poids de la voiture supportée par son essieu
roue suivant la direction C R, plus la tra
suivant la direction C P. Menons par A les pe
et A N sur C P et C R; il y aura dès-lors
force des chevaux sera telle que son prod
A M, soit égal à celui du poids multiplié p
n'est guère plus grande que celle nécessai
roue par-dessus l'obstacle.

(1) S'il n'y avait pas de frottement sur l'essi
roue serait la même que celle d'un cylindre roul

CHAPITRE IX.

Irrégularités dans l'action de la force appliquée à *:trémité d'un levier, dont la direction passe toujours* · *le même point.* — *Moyen d'y remédier.* — 112. *La roue* *ou essieu.* — 114. *Modification de la roue et de l'es-* *i, de manière que la puissance puisse s'accroître in-* *niment.* — 116. *Le Treuil.* — 117. *Le Cabestan.* — *. Roues marche-pieds.* — 120. *Roues mues par des* *:aux qui marchent dessus.* — 121. *Fusées.*

. *L'effet* d'une force appliquée à l'extrémité d'un le- épendant de la longueur de la perpendiculaire du point ıi sur la direction de cette force, varie nécessairement esse avec le mouvement du levier, pourvu que la force it pas, dans chaque position, faite pour agir à la même ce perpendiculaire de son point d'appui.

si un homme qui, restant dans la même position, ap- s sa force, au moyen d'une corde, à l'extrémité d'un ·, et élève ainsi un poids attaché à l'autre extrémité (1), ut pas produire le *même effet* en différentes positions as de levier par la *même dépense* d'énergie muscu- Il trouvera que ses efforts devront être plus *grands*, ure que la perpendiculaire du point d'appui sur la di- ı de la corde qu'il tire est *plus petite*.

› disposition bien simple lui procure les moyens de r une grande uniformité à l'effet de sa force ainsi ap- e.

t (*fig.* 93) P F Q un levier de forme quelconque; à ses xtrémités, P et Q, fixons deux arcs de cercle A B et qui ont tous deux leur centre au point d'appui ou sur F. Supposons que ces arcs fassent partie de la masse

(1) C'est le cas d'un pont-levis ou de la bascule pour tirer de l'eau les jardins près de Londres.

du levier, et que les cordes auxquelles les forces P sont appliquées, soient attachées à l'extrémité supé de chacun de ces arcs.

A mesure que l'extrémité du levier est tirée en b corde se déroulera de l'arc, en sorte que sa direction lu toujours tangente, et la perpendiculaire sur cette directi point d'appui sera un rayon de l'arc; par conséquen restera la même, quelle que soit la position du levier.

La perpendiculaire sur la direction de la force étant jours la même, son *effet* sera le même.

On a mis ce principe en usage pour convertir le mo ment vibratoire de l'arbre de la machine à vapeur, e mouvement longitudinal convenable au travail des po (*fig.* 94).

112. *Roue et Essieu.* — L ction du levier est nécess ment limitée et intermittente ans la communication du vement. Ainsi, quand un poids est attaché par une cor l'extrémité d'un levier, on ne peut lever ce poids par l tion du levier, qu'à une certaine hauteur, égale, au pl deux fois la longueur du bras où il est attaché. La rou l'essieu offrent une disposition qui permet d'étendre l'a du levier à toute distance, et de la rendre continue; ces a tages y sont combinés avec l'uniformité d'effet dont avons parlé dans le dernier article.

Concevons deux arcs circulaires AB et CD (*fig.* 95), se continuent en fermant le cercle entier; au lieu de l'ex mité d'une corde attachée à la circonférence en B, qu y soit roulée un certain nombre de fois. La corde à l'ex mité de laquelle on fait agir Q, étant d'une longueur s sante, l'action de P pour donner le mouvement à Q, être continuée à toute distance. La valeur de P pour p duire cet effet doit être plus grande que celle qui, m pliée par FP, donne un produit égal à celui de Q par Q Elle est évidemment peu importante quant à ce qui con ces conditions d'équilibre, qui sont les largeurs des b des deux cercles où s'enroulent les cordes. La plus p est ordinairement étendue sur un cylindre appelé l'ess L'autre est plus étroite et se nomme la roue.

113. La roue et l'essieu (*fig.* 95) sont ordi ployés à l'élévation des poids; ils nous metten *d'une petite* force ou d'un poids, d'élever u

considérable. Pour que la puissance et le poids puis-
en soutenir un autre, il faut que la puissance multipliée
e rayon de la roue soit égale au poids multiplié par le
a de l'essieu, et que le rayon de la roue soit plus grand
celui de l'essieu ; il est dès-lors évident que la puissance
être moindre que le poids, sans quoi l'égalité ci-dessus
ourrait avoir lieu. Ainsi la roue ayant 18 centimètres
ayon, l'essieu 3 centimètres, et le poids à soulever étant
ilogrammes, puisque 3 centimètres multipliés par 36
rammes, dont le produit est 108, doivent être égaux à
entimètres multipliés par la puissance, il est clair que
uissance doit être égale à 6 kilogrammes, puisque ce
bre multiplié par 18 donne 108 pour produit.

est évident que théoriquement l'on peut accroître la
sance de la roue et de l'essieu indéfiniment en accrois-
le rayon de la roue et diminuant celui de l'essieu ; mais
ratique cela devient impossible. Car si le rayon de la
est grandement accru, il devient difficile et même im-
ble d'y appliquer la puissance; tandis que si le rayon
'essieu est par trop diminué, l'essieu devient trop fai-
t incapable de supporter le poids.

4. La disposition suivante (*fig.* 96) paraît remédier à
nconvénient et nous mettre à même d'accroître indéfi-
ent la puissance de la roue et de l'essieu. Supposons
cercles tournés dans le même bloc de bois et ayant
centre commun en C ; attachons une corde à la circon-
ce du second cercle en A, passée autour d'une pou-
, et roulée en sens inverse sur le dernier des trois cer-
Le poids est attaché à la poulie Q, et la puissance P
ppliquée à la corde qui s'enroule sur le plus grand cer-
Or il est évident que les forces en A' et A", agissant d'un
e côté du centre, tendent à soutenir la force agissant
. Puisque la pression de R est également supportée par
eux cordons Q A et Q'A', qui chacun en portent la
ié, il est clair que la force agissant en A' est égale à
agissant en A, et la soutiendrait sans l'aide de P, si la
nce C A' à laquelle elle agit était égale à C A ; elle sera
ant plus près de la soutenir, que ces distances se rap-
eront plus de l'égalité ; en sorte que nous pouvons
la force additionnelle à P aussi petite que nous vou-

drons, en diminuant la différence des rayons C ‹
Ainsi la force P nécessaire pour produire l'ex
être diminuée, et la puissance de la machine a
proportion convenable.

115. Toutes les conditions d'équilibre seront
les mêmes, si les cercles ne sont pas dans le m

Les deux cercles intérieurs (*fig.* 97) sont o
des cylindres sur le même axe, et la force P
comme dans le vindas.

Quelquefois les cylindres sont placés sur dil
dres, et le même mouvement est communiqué à
par l'intervention d'une roue d'engrenage.

Plus la corde est enroulée sur l'essieu, pl
partir duquel elle est suspendue se meut sur
et tend à se rapprocher de l'extrémité, en gén
lution sur l'axe. Cette tendance est quelquefo
par la courbe que l'on donne à la surface de l
courbure s'accroît rapidement vers les extrém
et à mesure que la corde arrive à s'enrouler
points, elle glisse vers le centre.

116. *Treuil ou Vindas.* — La puissance, a
appliquée à l'essieu par l'intermédiaire d'une r
quefois appliquée par le moyen d'un levier fi
trémité et terminé en manivelle dont le manch
lèle à l'axe (*fig.* 98). La machine alors s'app
vindas. Si la puissance est appliquée par la r
nœuvre dans une direction perpendiculaire au
levier, les conditions de l'équilibre sont alor
que s'il y avait une roue.

117. *Cabestan.* —Si le cylindre, au lieu d'a
horizontal, est placé verticalement, la machi
nom de cabestan.

La puissance est appliquée au cabestan p
d'une suite de leviers placés à égales distanc
lui, dans la direction des rayons. On appliq
temps à chacun d'eux un ou plusieurs manœuvi

Le cabestan est surtout en usage pour leve
des vaisseaux. Quelques tours de câble sont en

(1) M. *Saxton* a appliqué ce principe à la construct
, *très-ingénieuse.*

nt suffisant pour l'empêcher de glisser ; et à me-
il s'enroule d'un bout, on le déroule de l'autre. Il est
que dans cette opération le câble tend continuelle-
enrouler d'une extrémité à l'autre du cylindre. Pour
er on lui donne une forme conique, ainsi qu'on le
99., et vers le bas son épaisseur s'accroît très-ra-
.. en sorte que lorsqu'il arrive à s'enrouler près de
remité, il glisse continuellement sur le plan très-
e la face du cône.

roues marche-pieds. — La force musculaire des
tant beaucoup plus grande que celle des bras, di-
méthodes ont été mises en usage pour l'employer
roues marche-pieds, à communiquer le mouvement

. 100 et 101 représentent deux de ces roues. Dans
ère (*fig.* 100) le poids du corps et la force muscu-
loppée par l'individu en s'élevant lui-même (la réac-
t supportée par la machine) se *combinent* pour
le mouvement. Cette roue marche-pieds est sou-
usage dans les prisons, et la réaction de la force
re est supportée par la barre que tiennent les pri-
La seconde roue (*fig.* 101) paraît avoir de grands
s sur l'autre, par l'économie des forces, de l'espace,
canisme.

on a employé divers modes de combinaisons du
cheval avec sa force musculaire pour mettre des
en mouvement.

102 représente une de ces combinaisons. L'avant-
cheval repose sur une plate-forme fixe, et son ar-
n sur la circonférence d'un cylindre qui est mis en
nt par le poids du cheval, combiné avec la force
re de ses jambes de derrière.

i le poids ou la force à vaincre est constamment la
qu'on doive la vaincre par une puissance variable,
dent que la puissance doit être appliquée à diffé-
stances de l'axe. Pour y parvenir, la roue (*fig.* 103),
être un cylindre, doit être un cône tel, qu'en l'ima-
ivisé par des sections transversales à égales dis-
s rayons de ces sections puissent croître ou dimi-
ctement dans la proportion suivant laquelle la
e à *employer doit* diminuer ou augmenter ; en sorte

que la petite puissance, ainsi disposée par l'enrou câble sur le cône à la plus grande distance, p même effet que la grande puissance à la distanc petite.

121. La roue conique d'une montre, qu'on nor est construite sur ce principe. La force du ress rale (*fig.* 104) qui s'y enroule et communique le à la montre, est la plus grande après qu'il y est diminue continuellement à mesure que l'enrouleme loppe; la différence de force correspondante au degrés d'expension, étant très-considérable. Il sui s'il n'y avait pas de frein à l'action variable du montre irait de plus en plus lentement à partir où la spirale commence à se dérouler; et à m cadran ne fût inégalement divisé, on ne pourrait pour marquer le temps. La fusée change cette pu riable, en une puissance égale qui donne un uniforme. Le ressort, en se déroulant, entraine cylindre creux dans lequel il est renfermé et qu le barillet. A la surface extérieure de ce cylindre une chaine, dont le reste s'enroule sur une spirale tiquée dans la surface de la fusée, et attachée à mité la plus large.

Quand la montre est montée, la chaîne occupe to sur la fusée et va depuis son extrémité la plus qu'à la circonférence du barillet. Le ressort agit la plus grande force ; mais la chaîne qui comm mouvement à la fusée, agit sur sa moindre ex dès-lors avec moins de tirage et avec son moin mesure que le ressort se déroule et que sa force chaîne agit continuellement sur les parties de la la fusée plus distante de son axe, et par consé plus de tirage ou d'effet. A mesure que le pouv sort s'affaiblit, son action sur la montre se renfo un ajustage convenable de la forme de la fusée r à sa force, il est évident que son action peut uniforme.

La forme conique de la fusée est quelquefois barillet du vindas. La corde étant attachée à sa extrémité, la puissance agit avec le plus grand av canique quand le tout est déroulé, et le poids

celui de la masse à élever. D'ailleurs, comme le
e la corde diminue à mesure qu'elle s'élève, elle
e sur une partie du barillet d'un diamètre plus con-
e.

CHAPITRE X.

stème de Roues dentées, modification de leviers com-
— 124. *Conditions d'équilibre d'un système de*
dentées. — 125. *Le frottement va en diminuant*
l on diminue la grandeur des dents.

Nous avons expliqué les avantages que l'on peut reti-
l'action combinée de deux ou de plusieurs leviers
· l'autre. Mais la difficulté de communiquer le
ent à l'aide d'une combinaison de leviers, en rend
tion, dans la pratique, à peine possible pour quel-
ges utiles. Le plus léger mouvement de l'un des
suffit pour dégager son extrémité de celle qui le suit
5), et la chaîne se trouvant ainsi rompue, le système
sans qu'il soit possible de l'éviter, puisqu'on ne
oduire le moindre mouvement en définitive sans un
ient assez violent des premiers leviers.

Supposons que deux leviers A B, *a b* (*fig.* 106), dont
B communique le mouvement à l'autre *a b*, soient
point de dégager leurs extrémités l'une de l'autre,
oi leur action l'un sur l'autre finirait par cesser.
ontinuer le mouvement, supposons deux autres le-
'B' et *a' b'*, fixés sous de tels angles aux premiers,
sque les premiers viennent à se dégager, ceux-ci
t justement à s'engager.

ion des deux systèmes l'un sur l'autre continuant par
conde paire de leviers, jusqu'à ce qu'ils soient *aussi*
gés ; on peut alors la continuer par une troisième
leviers A'' B'', *a'' b''*, puis par une quatrième, et
suite jusqu'à ce que la révolution soit complète, et

de même pour un nombre de révolutions des deux systè
de levier. Au lieu de deux, on peut combiner plusieurs
têmes de la même manière, et leur action combinée
nuera pendant un nombre quelconque de révolutions
parties des leviers qui agissent l'un sur l'autre sont
qu'à leurs extrémités, et par conséquent tout le re
système peut former un solide continu. Cette dispo
est celle de la roue dentée, ou d'engrenage.

124. *Roues d'engrenage.* — Supposons que deux
roues soient fixées sur deux essieux (*fig.* 107), ayant l
mes centres qu'elles C et C'. Enroulons ces essi
cordes dans la même direction et portant les poids I
Soient T et T' deux cames ou dents à l'instant de le
tact au point Q, et soit Q M M' la direction suivant l
la pression a lieu de l'une sur l'autre. Menons par
des perpendiculaires C M et C'M' à cette ligne.

Alors pour que la roue dont le centre est C puis
en repos, le moment de la pression en Q doit être
celui du poids P ; ou bien la pression en Q multipli
C M doit être égale au poids P multiplié par C
ticle 36). Il s'ensuit que la pression en Q doit être é
produit de P par C A, divisé par C M. On trouv
même qu'il est nécessaire à l'équilibre de l'autre ro
la force en Q soit égale au produit de W par C' A',
par C' M'. Ainsi la pression en Q est égale à la f
deux quantités

$$\frac{CA \times P}{CM} \quad \text{et} \quad \frac{C'A' \times W}{C'M'}$$

Ces quantités sont donc égales l'une à l'autre, et

$$\frac{CA \times P}{CM} = \frac{C'A' \times W}{C'M'}$$

D'où l'on tire

$$P = \frac{C'A' \times CM}{CA \times C'M'} \times W$$

Or il est évident que la dent T ne peut donner d

ment à T', sans glisser en même temps sur sa surface Q, et elle ne peut se mouvoir le long de sa surface, à ins que la direction de M T, suivant laquelle elle presse sus, ne soit dans l'angle limite de résistance (art. 72), et soit par conséquent très-inclinée par rapport à la face la dent; mais plus M Q est incliné vers Q T', moindre t la perpendiculaire C' M', et plus grande est la perpenculaire C M ; ainsi plus grande est la fraction

$$\frac{C' A' \times C M}{C A \times C' M'}$$

Et plus grande est la puissance P, nécessaire pour mettre mouvement un poids donné W.

Il y a donc une grande perte de puissance, dans la mane, par le glissement des dents sur les surfaces l'une de tre. Cette perte de puissance serait évitée si la disposi étail telle que dans le mouvement de la machine les ts pussent rouler au lieu de glisser l'une sur l'autre. st dans ce but qu'on leur a donné différentes formes rbes. Mais une discussion géométrique sur la nature ces courbes n'est pas du ressort d'un ouvrage élémene. On peut d'ailleurs établir généralement qu'elles aptiennent à cette classe de courbes qui sont engendrées r le mouvement d'un point sur la circonférence d'un cer-, roulant sur un point d'un autre cercle, et qu'on nomme *épicycloïde* ou *hypocycloïde*, suivant que le cercle mobile ule en dehors ou en dedans d'un cercle fixe.

Il est encore un autre objet pour lequel il devient plus portant de modifier les formes des dents des engrenages. Il est aisé de voir, à l'inspection de la *fig.* 107, que le mouvement uniforme de la roue C autour de son axe ne produit pas nécessairement un mouvement uniforme dans roue C'. En effet, la vitesse angulaire communiquée à C' riaue depuis la position dans laquelle les bords des dents nt dans la même ligne droite jusqu'à celle où elles se ttent.

Après tout, au reste, il est à peine possible de construire s roues qui satisfassent à toutes ces conditions ; et fussentes construites, l'usée inégale de la machine en aurait ntôt altéré les formes.

125. Le frottement est ce qu'il y a de mieux à év
l'o ut obtenir une parfaite uniformité de mou
e ment les dents et les faisant très-petites.
t pas considérable, on peut obtenir une
onvenable pour rendre imperceptible tou
mouvement.

dents sont petites, il est évident que chac
ntact abandonne l'autre immédiatemen
dé sé la ligne qui joint les centres des r
qu'elles peuvent être considérées comme se touchant
ment quand elles sont sur cette ligne (*fig.* 108). Or
que les surfaces des dents sont sur cette ligne, le mou
du point de contact est per diculaire à toutes deu
n'ont donc aucune tendanc glisser l'une sur l'aut
n'y a pas de frottement. Là, par conséquent, la pre
l'une sur l'autre est perpendiculaire à leur surface co
et les perpendiculaires C M et C' M' (*fig.* 107) co
avec C Q et C' Q (*fig.* 108). Les conditions d'équili
viennent donc

$$P = \frac{C'A' \times CQ}{CA \times C'Q} \times W$$

Et l'on y peut regarder C Q et C' Q comme éga
rayons des roues, à raison de la petitesse des dents.
suit, comme règle, pour trouver la puissance de comb
de deux roues dentées : multiplier la distance à laq
puissance est appliquée, à partir du centre de la p
roue, par le rayon de la seconde roue, et multiplier
tance à laquelle le poids agit, à partir du centre de la s
par le rayon de la première ; le quotient de ces produ
nant le rapport de la puissance au poids, ou la puiss
mécanisme.

126. Généralement si des roues engrènent l'une su
tre, en nombre quelconque, et que l'on suppose que
tances auxquelles agissent la puissance et le poids, à
des centres de leurs roues respectives, forment les
extrêmes d'une série, dont les termes intermédiaires
rayons des roues d'engrenage; alors prenant le prod
termes impairs de la série, et le divisant par celui des
pairs, le quotient représentera la puissance du systèm
Ainsi (*fig.* 109) les forces P et W agissent aux di

l et $C_3 B_3$, à partir du centre des roues auxquelles elles nt appliquées respectivement ; les écrivant donc, comme mes extrêmes d'une série dont les termes intermédiaires nt les rayons des autres roues, dans l'ordre qu'elles occunt, on aura la série

$$C A,\ C B,\ C_1 A_1,\ C_1 B_1,\ C_2 A_2,\ C_2 B_2,\ C_3 A_3,\ C_3 B_3.$$

Puis divisant le produit des termes impairs de cette série, r celui des termes pairs, on aura pour expression de la issance de la machine.

$$\frac{C A \times C_1 A_1 \times C_2 A_2 \times C_3 A_3}{C B \times C_1 B_1 \times C_2 B_2 \times C_3 B_3}$$

CHAPITRE XI.

I. *La manivelle.* — 129. *L'excentrique.* — 130. *Le levier le la presse Stanhope.* — 131. *Le renvoi de mouvement.*

127. *La manivelle.* — A l'extrémité M (*fig.* 110) du leer C M, mobile autour du centre C, concevons une verge N qui lui soit jointe par un assemblage, lui permettant de urner librement autour de ce point. Cette disposition est le d'une manivelle. Les deux forces appliquées agissent ne suivant la direction de la verge M N, et l'autre (à l'aide ne roue d'engrenage ou par tout autre moyen) sur un esu dans lequel C M est fixé par son extrémité C, tandis que sieu C M tourne autour. Les conditions d'équilibre sont l. 36) que le moment de la force appliquée à l'essieu soit al au produit de la force en N M multipliée par la perpenulaire C *m*.

Or comme les positions de C M et de M N changent (*fig.* 1 et 112), de manière à venir jusqu'en ligne droite, la perndiculaire C *m* diminue continuellement, et quand cette sition est atteinte, elle devient nulle. La force M doit donc ccroître continuellement, afin que l'égalité des momens isse subsister, et aucune force, quelque grande qu'elle soit,

ne suffit pour conserver cette égalité. En effet la force appliquée à l'essieu, a une valeur dét aucune force multipliée par C m ne peut avoir terminée, quand cette ligne devient nulle. L'é ces circonstances, est donc impossible, et il y de la manivelle dans laquelle elle ne supporte cune force, tant petite soit-elle, appliquée à son la force musculaire du bras est appliquée (*fig.* 1 ner le mouvement rotatoire soit à une roue, soit action est précisément analogue à celle d'une m

128. Par le moyen d'une manivelle, le mouv gueur peut être converti en mouvement circu sons que la verge R M (*fig.* 114) ne puisse se dans le sens de sa longueur. A son extrémité une seconde verge M N à l'aide d'un assemblag la à une troisième C N par un autre assemblag angles droits à son extrémité, un essieu mobi une douille ou sur un pivot. La verge C N fa lution par le moyen de son essieu entraînera l'e la verge M N dans son mouvement de rotatio niquera ainsi un mouvement alternatif de va et la longueur de M R; ou réciproquement, le r va et vient de M R fera tourner C N autour d nera son essieu dans ce mouvement de rotatio

129. *L'excentrique.* — Il y a une autre di convertir le mouvement circulaire continu en m tiligne alternatif. Un cercle est fixé à l'essieu manivelle, qui porte la puissance en un point qui n'est pas son centre; L N est un assembla est une ouverture circulaire précisément de l premier cercle, et qui est placée dessus ou fait tenir. L'extrémité N de cet assemblage peut êt verge mobile seulement dans une direction ve posée pour appliquer la force de la machine.

La tension sur l'assemblage est évidemment tion de la ligne M N, passant par le centre M duquel elle est symétrique. Prenons du mouvement, et menons C K perpe la force P appliquée pour faire tou C, reste la même, l'effort multipli Ainsi donc, à mesure que

; augmenter, et réciproquement. La force R, in-
› à l'équilibre, peut être considérée comme variant
int que l'effort sur l'assemblage.
iance de l'excentrique est d'autant plus grande que
ir duquel tourne le cercle est moins distant de son

ier de la presse Stanhope. — Il y a quelques faits
a combinaison de deux manivelles, qui sont dignes
. Concevons deux manivelles assemblées par une
nune M N (*fig.* 116) et ayant leur centres de mou-
C et C'. Supposons qu'une force donnée commu-
ouvement au système par la révolution de C M. On
'effort produit par cette force, dans la verge M N,
rand à mesure que C M et M N seront plus près
a même ligne droite (art. 127). Cet effort se trans-
et tend à communiquer le mouvement à C' N. Si
stème est disposé de manière que lorsque C M et
›resqu'en ligne, M N soit perpendiculaire à C' N,
à agir sur le levier à son plus grand avantage,
int qu'il se produira une force énorme tendant à
›r l'essieu auquel le levier est attaché. Cette dis-
leviers est celle employée dans la presse Stanhope.
' guide la vis qui presse le papier à imprimer,
›rce énorme contre les caractères.
woi de mouvement. — C'est une disposition qui,
›s formes, entre dans la construction d'une foule de
s, et dont l'usage a pour but, en général, de con-
iouvement continu de rotation, en mouvemens di-
gnes.
117) est une verge pouvant se mouvoir dans le
longueur, soit par son propre poids, soit à l'aide
t, et mise en contact avec le bord d'une masse
A D; cette verge porte avec elle la partie du mé-
aquelle on doit communiquer un mouvement irré-
es irrégularités du bord de la masse A D sont fai-
›érience, comme il convient pour assurer ce mou-
égulier, lorsque la masse tourne régulièrement sur
autour duquel elle est mobile.
s-unes des combinaisons les plus ingénieuses de
me sont en usage pour les métiers à tulle. L'ex-
été des mouvemens entrelacés qui doivent

du mouvement régulier du piston de la mac
ou de la continuité du mouvement d'une ro
jointe à leur précision, à leur rapidité, à leur
trême, la rangent parmi les prodiges de scien
nique-pratique.

La relation entre la puissance appliquée p
mouvement de rotation au renvoi, et celle
glisse, peut, dans chacune de ses positions d
être calculée ainsi qu'il suit.

Par le point où il glisse en contact avec le
menons une ligne oblique à la perpendiculaire
sous un angle égal à l'angle limite de résista
de l'axe du renvoi, abaissons une perpendic
ligne. La résistance entre le renvoi et le gli
culera (art. 86) en divisant le moment de la
à faire tourner le renvoi (c'est-à-dire son pro
gueur de la manivelle), par sa perpendiculair
résistance du renvoi et du coulisseau, ou l'un
pas entièrement employée à communiquer le
dernier; une partie est supportée pour les sur
quelles il se meut et qui servent à le diriger.
portion de toute la force *effective* employée à
coulisseau, il faut multiplier la résistance par
l'angle que la ligne de résistance fait avec la d
lisseau.

Il est évident, d'après ce qui précède, que
au bord du renvoi une forme telle, qu'il soit
coulisseau de l'éviter, quelque *faible* d'aille
pression du coulisseau.

CHAPITRE XII.

éorie de la vis. — Vis de rappel. — Vis de micromètre. — Vis sans fin. — Vis conique. — Vis Hunter.

132. *La vis.* — C'est une combinaison du plan incliné et levier. Il est clair que l'équilibre de la masse M (*fig* 61) pend des forces qui agissent dessus et de l'inclinaison de le portion du plan incliné avec lequel elle se trouve en tact; sans avoir rien de commun avec la forme ou l'in-naison des autres parties du plan. Supposons maintenant la portion du plan avec laquelle M est en contact, soit essivement petite, et que cette portion du plan restant s altération, le reste soit enveloppé autour d'un cylindre tical, la ligne A B s'enveloppant sur sa base, de manière amener les extrémités A et B l'une vers l'autre. Le plan ra prendra la forme représentée dans la *figure* 118. Les nts A et B coïncidant en A ; A E C étant la surface, et A C dos du plan.

Supposons le tout mobile autour d'un axe O O', coïncidant ec celui du cylindre, et soit *n' n* la force appliquée au dos plan dans une direction autour de l'axe. Cette force se pagera en Q, et agira sur ce point parallèlement à la base plan, précisément comme elle l'eût fait avant si le plan été courbe, en sorte que l'équilibre *subsiste* dans les mes circonstances.

Nous pouvons supposer la force *n n'* engendrée au moyen n levier ayant son point d'appui en L sur l'axe du cy-dre, et sollicité par une force P appliquée à son extrémité vant la direction P P'. La pression convenable en *n* sera gendrée par une force beaucoup plus petite en P.

On a vu (art. 86) que l'effet de la force *n n'* appliquée au du plan incliné mobile, sur un obstacle M, s'opposant lui-me au mouvement du plan, et agissant sur sa surface, est jours dans la direction limite de la résistance du plan, c'est-ire inclinée *à la perpendiculaire* sur cette surface, sous un

/is est fixe, de manière qu'elle puisse tourner sim- autour de son axe, tandis que l'écrou ne peut se que longitudinalement, alors le mouvement de ro- nné à l'une communiquera un mouvement longitu- autre. Cette disposition (*fig.* 121) s'appelle *vis de re*, et plus généralement *vis de rappel*.

.es matières que l'on doit soumettre à de grandes , sont, pour la plupart, par leur nature, plus ou npressibles et cèdent plus ou moins; il est néan- lispensable d'agir toujours sur elles sans interrup- vec la même force, quelque modification que su- · forme. De toutes les puissances mécaniques, la vis ןui est le mieux calculée pour ce genre de pression ı du levier marche continuellement suivant sa posi- raison de ce que la surface sur laquelle elle s'exerce ésiste, la vis opérant dès-lors une pression égale, ıême direction, et sans relâche.

a puissance de la vis est d'autant plus grande que on du plan qui forme son filet et l'angle limite de de la surface sont moindres, et d'autant plus que ı est moindre par rapport à la longueur du levier à é duquel la puissance est appliquée. Dès-lors, si le t est le même et qu'on se serve du même levier, ıce de la vis sera d'autant plus grande que son dia- a plus petit et la distance moindre entre ses filets, pas de la vis sera plus fin.

'ailleurs, en diminuant le diamètre de la vis, et ac- la finesse du filet, on diminue sa force, car il n'y , sans cela, de limite à sa puissance.

ı *vis Hunter* (*fig.* 122), qui porte le nom de son , obvie en grande partie à ces inconvéniens. Elle ans la combinaison de deux vis, dont l'une travaille re. La puissance de cette double vis ne dépend pas ces entre les filets des deux vis qui la composent, a différence entre ces distances. Dès-lors les filets tre d'une épaisseur et d'une force quelconque, ı'ils ne diffèrent guère d'épaisseur entr'eux.

ples vis d'ailleurs peuvent avoir une prodigieuse . La première impulsion que reçoit la carène d'un |u'on lance à la mer, provient de l'action d'une pe- Jne première vis assure l'assise sur laquelle il re-

pose, ou avant des coulisses, et la vis retirée, le vais
glisse à l'eau par son propre poids. Par l'action d'une
une volumineuse balle de coton, telle qu'il n'en faudrait
quelques-unes pour encombrer un vaisseau, sont réduite
paquets si minces, que cette substance, l'une des plus lég
connues, devient assez pesante pour ne plus surnager
l'eau. Les usages de la vis sont innombrables. Il n'est pa
charpente si dure, qu'une vis ne puisse traverser; et une
fixée, il n'est pas de puissance qui puisse l'arracher, en
sant seulement dans la direction de sa longueur et sans la
tourner. C'est ainsi que l'on assemble deux morceaux de
assez ferme pour n'en plus faire qu'un seul. De grands
liers de bâtimens ont été ramenés d'une position inclinée
celle verticale, à l'aide d'une petite vis mue par une f
force. La vis sert à exprimer le jus des substances végét
c'est un grand agent du paquetage, du monnayage et de l
pression en tous genres.

138. La vis est quelquefois combinée avec la roue de
et constitue ainsi ce que l'on appelle la *vis sans fin*. C
combinaison peut s'obtenir en plaçant l'axe de la vis da
plan de la roue (*fig.* 123), ou bien à angles droits ave
comme dans la vis américaine sans fin.

Dans l'un et l'autre cas, les roues doivent avoir une
formation convenable à l'inclinaison du filet. La dist
entre deux filets de la vis doit être exactement égale à la
geur d'une dent de la roue ; en sorte qu'une *complète ré*
tion de la vis est nécessaire pour mouvoir la circonféren
la roue d'une distance égale à une seule de ses dents.

139. Quelquefois la vis, au lieu d'agir sur des dent
saillie sur le bord de la roue, est faite pour agir sur le
d'un écrou *creusé* dans son bord (*fig.* 124), disposition
présente l'avantage d'une forme plus convenable et d'une
tion plus ferme de la vis sur la circonférence de la roue.

On a vu qu'une roue dentée constitue de fait une sér
leviers, et que la vis n'est autre chose qu'un plan incliné
spirale. La vis sans fin n'est donc qu'une combinaison du
incliné et du levier.

140. Au lieu d'être engendré par une spirale autour d
cylindre, le filet de la vis peut être formé par une spirale
tour d'un cône (*fig.* 125). Une vis de cette forme com
avec la pression d'une vis cylindrique, l'action d'un coin

puissance pour pénétrer dans un corps solide s'accroît à
on de ce qu'elle se termine en pointe. La vrille et la ta-
e sont des applications de cette forme de vis, qui permet
la retirer promptement.

CHAPITRE XIII.

. *Flexibilité.* — 142. *Tension.* — 143. *Frottement d'une orde.* — 144. *Poulie.* — 145. *Simple poulie fixe.* — 47. *Simple poulie mobile.* — 148. *Moufle espagnole.* — 50. *Premier système de poulies.* — 151. *Second système e poulies.* — 152. *Combinaison des deux systèmes.* — 56. *Poulie Sméaton.* — 157. *Poulie White.*

41. Un corps flexible diffère d'un solide en ceci, *qu'il résiste que suivant certaines directions à l'action d'une ce tendant à altérer sa forme ou à séparer ses parties, dis qu'un solide exerce cette puissance en toute direc-n.*

Une corde est un corps flexible, sous la forme d'un mince lindre, ordinairement formé des fibres de certaines sub-nces végétales tressées ensemble. On la dit parfaitement xible, quand elle résiste bien à l'action des forces qu'on lui it appliquer dans le sens de sa longueur. Ce pouvoir de ré-tance se nomme tension.

La tension sur chaque partie d'une corde soumise à l'ac-n de forces appliquées à ses extrémités (*fig.* 126), est la me. Supposons en effet la corde A A' en repos, les forces sant sur ses extrémités sont alors égales (art. 5). Or la sion en A' étant la résistance que la corde oppose à la ce en ce point, est égale à cette force, et par conséquent à force A. Cela est vrai, quel que soit le point A' pris sur corde; la tension en un point quelconque est donc égale A.

Une corde tendue en ligne droite donne donc un moyen cile de transmission de la force d'un point sur un autre. Ce

n'est pas d'ailleurs seulement, quand elle est tirée s même *ligne droite*, qu'une corde a la propriété d mettre une force d'un point à un autre ; elle conse propriété quand elle est *courbe*. En effet une ligne *co* se concevoir comme composée d'un nombre infini *droites*, dont l'inclinaison l'une sur l'autre est si ex ment petite que chacune peut être considérée comme droite avec sa voisine. D'après cela, il est évident qu que soit la tension de la première de ces lignes, transmise à la seconde, et ainsi de suite dans toute la

La corde nous donne donc aussi un moyen de tran de force, en ligne courbe, et la reproduisant à *l'un trémités* de cette ligne (*fig.* 127), quelles que soient et sa longueur, avec la même énergie qui est imp *l'autre extrémité.*

Mais la difficulté consiste à la courber ; car il est qu'à raison de sa *flexibilité*, elle ne peut conserver forme *courbe* qui lui soit donnée, à moins que ce ne l'action de *certaines forces*. La méthode la plus co d'y suppléer, est de la tendre sur quelque corps sol la réaction lui conserve la courbe voulue. Si cette était exercée partout, seulement dans une direction *diculaire* à la surface, elle ne détruirait pas cette é tension dont nous avons parlé. En effet elle ne pou affectée tant que l'action serait *perpendiculaire* à la Mais malheureusement il n'est pas de surface dont tion s'exerce ainsi (art. 73).

142. La résistance d'une surface peut toujours se poser en deux, une dans la direction de la perpendi la surface, et l'autre dans la direction de la surfa même. *Cette dernière résistance* s'oppose à la tensi corde, qu'elle diminue continuellement avec une te dité, qu'il y a peu de tensions assez puissantes pou être entièrement détruites par deux ou trois tours de rouée (1).

(1) Les faits suivans relatifs au frottement des cordes importance assez grande pour trouver place ici, quoique les sur lesquels ils reposent n'y puissent être expliqués.

Si une corde enveloppe une partie quelconque d'un c frottement sera le même, quel que soit le rayon du cylindi ...lement que l'angle sous-tendu au centre par l'arc, suiv

il devient dès-lors impossible de transmettre la force par moyen, à moins d'une grande perte.

143. La poulie est une machine destinée à obvier à cette ficulté, et qui sert à transmettre la tension d'une corde, ns la diminuer sensiblement, en permettant de la courber ns toute direction voulue. C'est un étroit cylindre ayant e gorge creusée à son bord, et mobile autour de son centre l'aide d'un axe supporté dans un assemblage qu'on nomme ape (*fig.* 132 et 135). L'essieu est quelquefois fixé par ses ux extrémités dans la chape, en passant par un trou au ntre de la poulie, et quelquefois il est fixé dans la poulie, tournant dans les trous des côtés de la chape qui le reçoint.

e s'enroule, soit le même. Si la corde ne fait qu'un demi-tour du lindre, sous-tendant un arc de 180° au centre, ou un tour entier, us-tendant un arc de 360°, peu importe le rayon du cylindre, le ottement sera toujours le même. Si l'on fait un demi-tour; un tour demi; deux tours et demi, et ainsi de suite, les frottemens corresndans seront représentés par une série de nombres dont chacun est al au précédent, multiplié par le carré du premier terme de la rie.

En général, l'indication du frottement pour un demi-tour, peut être présentée par 3; pour un tour et demi, deux tours et demi, etc., c., ce sera donc 3×9 ou 27; 27×9 ou 243; 243×9 ou 2187, etc.

Si donc R représente la résistance agissant à l'extrémité d'une corde, P la puissance nécessaire pour la contre-balancer à l'autre extrémité, nroulement donnera pour un demi-tour $P = 3R$; pour un tour et mi $P = 27R$; pour deux tours et demi $P = 243R$; pour trois urs et demi $P = 2187$, etc.

Nous pouvons, d'après ce qui précède, expliquer aisément la raison ur laquelle le nœud qui réunit les deux extrémités d'une corde, réte efficacement à l'action de toute force qui tend à les séparer. Si corde s'enroule sur un cylindre, comme dans la *fig.* 128, et qu'à ses ux extrémités soient appliquées deux forces P et R, on voit, d'après ce que nous venons de dire, que P ne contre-balancera pas R, à ins qu'il ne soit égal à 9 fois cette force. Or si le cordon auquel R attaché, passe sous l'autre cordon de manière à en être pressé conla surface du cylindre, comme on le voit en *m* (*fig.* 129); alors, urvu que le frottement produit par cette pression ne soit pas indre qu'un neuvième de P, le cordon ne se mouvra pas même ique la force R cesse d'agir. Si les deux extrémités du cordon sont iées de manière à passer sous l'enroulement (*fig.* 130), il y aura ben d'une moindre pression sur chaque. Or en diminuant le rayon cylindre, cette pression peut s'accroître indéfiniment, puisque, par propriété connue des courbes funiculaires, elle varie en raison in-

n'est pas d'ailleurs seulement, quand elle est tirée même *ligne droite*, qu'une corde a la propriété mettre une force d'un point à un autre ; elle cons propriété quand elle est *courbe*. En effet une ligne c se concevoir comme composée d'un nombre infini *droites*, dont l'inclinaison l'une sur l'autre est si ment petite que chacune peut être considérée comm droite avec sa voisine. D'après cela, il est évident q que soit la tension de la première de ces lignes, transmise à la seconde, et ainsi de suite dans toute

La corde nous donne donc aussi un moyen de tra de force, en ligne courbe, et la reproduisant à *l'u trémités* de cette ligne (*fig.* 127), quelles que soient et sa longueur, avec la même énergie qui est im *l'autre extrémité.*

Mais la difficulté consiste à la courber ; car il e qu'à raison de sa *flexibilité*, elle ne peut conserv forme *courbe* qui lui soit donnée, à moins que ce n l'action de *certaines forces.* La méthode la plus c d'y suppléer, est de la tendre sur quelque corps s la réaction lui conserve la courbe voulue. Si cett était exercée partout, seulement dans une direction *diculaire* à la surface, elle ne détruirait pas cette tension dont nous avons parlé. En effet elle ne pou affectée tant que l'action serait *perpendiculaire* à l Mais malheureusement il n'est pas de surface don tion s'exerce ainsi (art. 75).

142. La résistance d'une surface peut toujours s poser en deux, une dans la direction de la perpend la surface, et l'autre dans la direction de la surf même. *Cette dernière résistance* s'oppose à la tens corde, qu'elle diminue continuellement avec une t dité, qu'il y a peu de tensions assez puissantes po

ent dès-lors impossible de transmettre la force par , à moins d'une grande perte.

a poulie est une machine destinée à obvier à cette ѐt qui sert à transmettre la tension d'une corde, iminuer sensiblement, en permettant de la courber e direction voulue. C'est un étroit cylindre ayant ; creusée à son bord, et mobile autour de son centre l'un axe supporté dans un assemblage qu'on nomme). 132 et 135). L'essieu est quelquefois fixé par ses :émités dans la chape, en passant par un trou au la poulie, et quelquefois il est fixé dans la poulie, ınt dans les trous des côtés de la chape qui le reçoi-

ule, soit le même. Si la corde ne fait qu'un demi-tour du ous-tendant un arc de 180° au centre, ou un tour entier, nt un arc de 360°, peu importe le rayon du cylindre, le sera toujours le même. Si l'on fait un demi-tour; un tour eux tours et demi, et ainsi de suite, les frottemens corres-ɜront représentés par une série de nombres dont chacun est récédent, multiplié par le carré du premier terme de la

ral, l'indication du frottement pour un demi-tour, peut être e par 3; pour un tour et demi, deux tours et demi, etc., ra donc 3×9 ou 27; 27×9 ou 243; 243×9 ou 2187, etc. R représente la résistance agissant à l'extrémité d'une corde, ssance nécessaire pour la contre-balancer à l'autre extrémité, ıent donnera pour un demi-tour $P = 3R$; pour un tour et › 27 R; pour deux tours et demi $P = 243 R$; pour trois emi $P = 2187$, etc.

uvons, d'après ce qui précède, expliquer aisément la raison ılle le nœud qui réunit les deux extrémités d'une corde, ré-cement à l'action de toute force qui tend à les séparer. Si enroule sur un cylindre, comme dans la *fig.* 128, et qu'à ses émités soient appliquées deux forces P et R, on voit, d'a-e nous venons de dire, que P ne contre-balancera pas R, à l ne soit égal à 9 fois cette force. Or si le cordon auquel R é, passe sous l'autre cordon de manière à en être pressé con-face du cylindre, comme on le voit en *m* (*fig.* 129); alors, e le frottement produit par cette pression ne soit pas ju'un neuvième de P, le cordon ne se mouvra pas même force R cesse d'agir. Si les deux extrémités du cordon sont manière à passer sous l'enroulement (*fig.* 130), il y aura be-: moindre pression sur chaque. Or en diminuant le rayon e, cette pression peut s'accroître indéfiniment, puisque, par iété connue des courbes funiculaires, elle varie en raison in-

144. *Poulie fixe.* — Supposons deux forces P et P' (*fig.* 134) agissant dans une direction quelconque aux extrémités d'une corde passant sur une poulie ayant sa chape fixe et qu'on appelle dès-lors *poulie fixe*. Le frottement [illegible] corde et la surface l'empêchera de glisser sur cette surface ainsi que nous l'avons expliqué déjà. Les forces P et P' tendront donc, chacune, à communiquer le mouvement à la poulie autour de son axe, et puisqu'elles agissent à des distances perpendiculaires égales CM et CM', de l'axe, cette tendance ne sera détruite qu'autant qu'elles seront égales l'une à l'autre (1). Cela donne un moyen de transmission de force, sans altération ou diminution de force d'une direction à une autre sous un angle quelconque avec la pression, et agissant à une distance quelconque. On peut changer ainsi la force de haut en bas (*fig.* 133) en une force de bas en haut (*fig* 132), et réciproquement. Par la combinaison de deux ou de plusieurs poulies, il n'est pas de chemin, quelque long et tortueux qu'il soit, par lequel on ne puisse transmettre ainsi une pression égale.

Quand les forces agissant sur une poulie sont en directions parallèles, il est évident que la pression sur l'axe est égale à leur somme, ou deux fois l'une d'elles, ajoutée au poids de la poulie.

verse du rayon. On peut donc diminuer assez le rayon d'un cylindre, pour qu'aucune force ne soit assez grande pour en chasser une corde roulée dessus (*fig.* 130), même sans qu'une extrémité reste libre et sans application d'aucune force. Supposons la corde double (*fig.* [illegible]) enroulée comme précédemment, il est évident qu'on peut [illegible] faire le cylindre assez petit pour qu'aucunes forces P et P' appliquées aux extrémités de l'une des doubles cordes, ne soient suffisantes pour les en retirer, dans quelques directions qu'elles y soient appliquées.

Otons maintenant le cylindre. La corde alors étant serrée, au lieu d'être enroulée sur un cylindre, se repliera sur elle-même, aux points *m* et *n*, et la corde, au lieu d'être passée en ces points sur le cylindre par une force agissant sur une portion de la circonférence, sera passée par une force plus considérable agissant tout autour. Tout ce que nous avons dit de l'impossibilité de détacher la corde aura lieu encore à un plus haut degré. Enfin, aucune force P et P' agissant pour tirer les cordes P et P', ne pourra défaire le nœud.

(1) On ne tient compte ici ni du frottement de la poulie sur son axe, ni de son frottement contre sa chape.

and leurs directions ne sont pas parallèles, la pres-
ne est égale à leur résultante. Cette résultante peut
ier ainsi qu'il suit : soient M, M' (*fig.* 132 et 133)
où les cordes abandonnent les poulies. Joignons
I', ces lignes sont perpendiculaires à R M et P M',
es étant tangentes en M et M'. Joignons M M',
sera perpendiculaire à C Z. D'où il suit que les
, C M, C M' et M M', formant le triangle C M M',
ndiculaires aux directions des trois forces qui main-
. poulie en repos, et sont par conséquent propor-
ıces forces (1); en sorte que si l'on en prend une pour
r l'une des forces, les autres représenteront les au-
Si donc C M représente la puissance P, M M' re-
la résistance R; et cette résistance peut être dé-
ar la proportion

$$CM : MM' :: P : R$$

ant la même puissance, mais enroulant diverses
cordon sur la poulie, il est clair que l'on augmente

ut le prouver de la manière suivante : soient A B, A C
33) trois lignes représentant, en grandeur et en direc-
forces tenant une masse en repos et formant dès-lors
s côtés et la diagonale d'un parallélogramme.
un des points P, Q, R, dans les *directions* de ces li-
ns les perpendiculaires P *c*, Q *a*, R *b*; et prolongeons-les
ju'elles se coupent deux à deux, pour former le triangle

rincipe connu de géométrie, que si deux lignes sont in-
e à l'autre, sous un angle quelconque, et qu'on mène là
perpendiculaires, ces dernières sont inclinées sous le *même*

t que P *c* et Q *c* sont inclinées l'une à l'autre sous le même
e sont A D et A C ; ou que l'angle P *c a* est égal à l'angle
ır la même raison, l'angle *c a b* est égal à l'angle C A B.
C A D est égal à son alterne A C B ; donc les deux angles
A C B sont respectivement égaux aux deux angles *c a b* et
conséquent les triangles sont équiangles et semblables. Si
A C en un certain nombre de parties égales, et *a c* en
parties, il y aura autant de parties de même longueur que
dans A B et B C, respectivement, qu'il y en a de même
jue la seconde dans *a b* et *b c*. Or B C est égal à A D
tés opposés d'un même parallélogramme. Il s'ensuit que si
côtés *a c* du triangle *a b c* est pris pour représenter la

sur laquelle passe le câble P C D, ayant une de ses ext sollicitée par la puissance P, et l'autre fixée à l'obsta mobile D, soit attachée par sa chape à une second $P_1 C_1$, passant sur une seconde poulie attachée à un point fixe D_1; qu'une troisième poulie s'attache de mê seconde, et ainsi de suite.

Supposons enfin que la dernière poulie porte un p Puisque les cordons $C_3 P_3$ et $C_3 D_3$ supportent égal eux deux le poids R, chacun d'eux en porte moiti tension sur le cordon $P_3 C_3$ est moitié du poids R. cordons $C_2 P_2$ et $C_2 D_2$ supportent également cette t chacun d'eux en supporte donc moitié, ou $1/4$ de R. I $P_1 C_1$ et $C_1 D_1$ se divisent la tension sur $P_2 C_2$, portant $1/8$ de R, et C P et C D en portant chacun m $1/16$ de R, ce qui est, par conséquent, la valeur de P nécessaire à l'équilibre, ou bien $R = 16$ P. On p déterminer la puissance nécessaire pour supporter l quel que soit le nombre des poulies intermédiaires, sant le poids par le nombre résultant de la multi de deux fois autant de fois par lui-même qu'il y a lies.

Nous avons négligé ici les poids des poulies; la p *additionnelle* nécessaire d'ailleurs pour les supporte cule aisément en considérant le poids de chacune con force appliquée séparément à *cette poulie*. Ainsi, po porter la première poulie, moitié de son poids doit êt à la puissance. Pour supporter la seconde, il suffit d son poids, de $1/8$ pour la troisième, et de $1/16$ pour trième. En les ajoutant à la puissance on a tout ce qu cessaire à l'équilibre.

Dans la *fig.* 139, les poulies augmentent de dia partir de la première. La raison en est que les press les axes s'accroissant continuellement, si l'on ne d'une force suffisante l'axe de la première, celui de la doit être d'un diamètre plus grand que celui de la fo fisante, celui de la troisième plus grand encore, et suite. Les essieux augmentant de diamètre, les fr sur ces essieux s'accroissent aussi. Il faut donc que mètres des poulies deviennent de plus en plus gra que chacun puisse agir avec la même puissance pou balancer ce frottement.

. *Second système de poulies.* — Dans le système que
venons de décrire, la résistance sur la corde de la der-
poulie et les poids des différentes poulies agissent contre
ssance ou tendent à accroître la résistance. Nous allons
e un système dans lequel les tensions des cordes de
les poulies agissent immédiatement sur la résistance,
s lequel les poids des poulies *favorisent* la puissance ou
nt de concert avec elle.

P_2, P_3 (*fig.* 140) sont des poulies mobiles, et P_4 est
oulie fixe. Un câble passant sur la poulie P_4 est attaché
une de ses extrémités à une barre portant un poids R,
l'autre extrémité à la chape d'une poulie mobile P_3,
quelle passe un second câble agissant de même sur R,
tant une troisième poulie P_2 ; le nombre des poulies peut
s'accroître indéfiniment. Le câble qui passe sur la der-
poulie supporte l'action de la puissance P.

la puissance P, par le moyen du câble P P_1 p_1, sup-
une portion du poids R égale à P et transmet sur la
P_2 p_2, par laquelle la poulie P_1 est suspendue, une ten-
gale à 2P, et conséquemment elle supporte en p_2 une
n ultérieure du poids, égale à 2P. Cette tension de 2P
p_2 produit de nouveau sur P_3 p_3 une tension égale à
t supporte par conséquent, en p_3, une portion du poids
à 4P. On verrait de même que la portion du poids sou-
en p_4 est égale à 8P. Ainsi le poids P est fait pour
rter aux points p_1, p_2, p_3, p_4, des portions du poids
ales à P, 2P, 4P, 8P, respectivement; et tout le poids
rté égale 15P, ou bien R = 15P.

peut calculer, d'une manière analogue, le rapport de
ssance à la résistance du poids, quel que soit le nombre
oulies dont le système soit composé. Nous avons ici né-
les poids des poulies; il est évident qu'ils agissent tous
supporter le poids R. Leur effet dans ce sens doit être
lé comme précédemment. Les poulies doivent s'accroître
andeur, à partir de celle qui porte la puissance, pour les
s raisons que dans le système précédent.

2. Les deux systèmes précédens se modifient quelquefois
ombinant avec chaque partie mobile, une poulie fixe d'un
être moitié moindre. Le câble passe dessus, et retourne
cher à la chape. Chaque poulie mobile, alors, au lieu
e soutenue *par les tensions* égales des deux câbles, est

soutenue par les tensions égales de trois (*fig.*
sions sur les câbles successifs, au lieu d'être,
double, sont le *triple* l'un de l'autre. Le rappo
sance et de la résistance peut, en ayant égard
rence, se calculer précisément de la même mar
cédemment.

153. Dans la pratique, on n'emploie que
même pas du tout, les systèmes de poulies qu
de décrire. Les poulies en général sont mises e
seulement pour surmonter de grandes résistanc
produire un degré plus ou moins considérable
continu. Or, revenant à la *fig.* 140, il est évid
courcissant chaque cordon qui passe sur une
certaine quantité, nous ferons mouvoir la pou
et nous raccourcirons le cordon voisin auque
est attachée, seulement de moitié de cette qua
nant ainsi un certain mouvement à la puissanc
mouvoir les diverses poulies, à partir de la p
cune en des espaces égaux à la moitié de celui
la poulie précédente. Les poulies se sépareront
ment l'une de l'autre. Celle qui porte la puissa
vite, et deviendra inutile, avant même que la
remontée sensiblement.

C'est pour cela qu'on a inventé un autre systè
dont on fait habituellement usage, et qui, sans
puissance avec le même nombre de poulies, ou
berté de frottement, est d'un emploi beaucou
mode.

154. A et B (*fig.* 142) sont deux blocs dans
quels une série de poulies est disposée, l'une au-
tre, et chacune mobile sur un essieu séparé. Le
A est fixe, et le bloc inférieur B est mobile, empo
R. Un câble portant la puissance passe sur la
rieure du bloc d'en haut et sur la poulie infér
d'en bas, et ainsi de suite jusqu'à ce que son ext
se fixer à l'extrémité du bloc d'en haut. La ter
est la même partout, et par conséquent la pu
même partout. Or l'effet de ces tensions sur le
si elles sont parallèles l'une à l'autre, est égal à
ou bien à autant de fois la puissance P qu'il y

sur le bloc d'en bas. Si donc il y a six cordons, comme *fig.* 142, R = 6P.

ı, dans la pratique, un inconvénient à se servir de ce , et qui provient de ce que la longueur des blocs em- 'élever le poids à une distance considérable du point e système est suspendu.

Pour obvier à cet inconvénient, on a disposé un sys- ns lequel les poulies, au lieu d'être enfilées l'une *au-* de l'autre dans chaque moufle, ce qui nécessite une longueur des moufles, sont simplement *côte à côte* et ; par des chapes qui leur permettent de tourner sur ; axe (*fig.* 143). Un inconvénient dans l'usage de cette le moufle, c'est que les cordes changent de plan en d'un moufle à l'autre, en sorte que, quoiqu'elles ıarallèles *l'une à l'autre*, de chaque côté du moufle, le sont pas respectivement à celles qui sont du côté du même moufle. Il en résulte un tirage oblique des ur les poulies, ce qui tend à accroître les frottemens et re les axes.

Poulie Sméaton (*fig.* 144). — Le célèbre Sméaton a un système de poulies d'une manière fort ingénieuse. ıx moufles renferment chacun dix poulies, en deux l'une au-dessous de l'autre, et un seul câble passe sur dans l'ordre indiqué par les chiffres. La tension ı même sur le câble, partout, chaque brin agit sur la ıce avec une force égale à la puissance. La totalité de ı est égale à la puissance répétée autant de fois qu'il y viers.

ıule objection contre le système, c'est que chaque poulie ıt sur un axe séparé, le câble perd une partie de sa en passant dessus (1), en sorte que les tensions sur

perte totale par le frottement peut se déterminer aisément. ons vu (art. 109) que la poulie ne peut pas être mise en ınt, à moins que la résultante Z de la puissance et de la résis- › passe en N (*fig.* 146), de sorte que l'angle C N Z soit égal › limite de résistance. Il s'ensuit que C N étant oblique par à B P et A R, sous un angle égal à l'angle limite de résis- ›t M N étant mené par N parallèlement à B P ou A R, R que

$$P \times MB = R \times MA$$

'on tire *la valeur de R*. La différence entre R et P est la *le frottement.* [*Voyez l'appendice.*]

les brins diminuent continuellement
quel agit directement la puissance,
coup moindre que celle que nous av
157. *Poulie White* (*fig.* 145). — C
fles où toutes les poulies tournent
sont les moufles dans lesquels les pou
gées l'une sous l'autre, ou côte à cô
l'une *sur* l'autre. Le même câble p
toutes, commençant à la plus grande p
rieur, et elle est attachée au centre du

Supposons que les deux moufles
l'autre à une distance quelconque. Le
raccourci d'une longueur égale à cette
gueur sera celle du brin qui passe sur
poulie C_2 ; mais en venant sur la pouli
de même que C C_1. Donc en passant su
la longueur du brin passant sur C
aura une longueur de brin égale à ce
gueur dont a été raccourcis C_2 C_3, c'e
fois la longueur du brin qui passe su
Les longueurs des brins qui passent
donc respectivement comme les nomb
Ceux qui passent sur les poulies de
comme les nombres impairs de la sui
sur les autres comme les nombres pai
les dimensions des poulies doivent
à ce que chacune reçoive le brin qui
Il est aisé de voir que pour que ces
doivent être dans le moufle supérieur
3, 5 etc., et dans le moufle inférieur
4, 6, etc.

(1) Or pendant que les deux moufles
de chacun, puisqu'elles sont fixées
angle. Les différentes longueurs des
sous-tendant les mêmes angles dans les
égales à celles des arcs. Les arcs
différentes poulies du même moufle sont
nombres 1, 3, 5, etc., pour le moufle d'
le moufle d'en bas. Mais les arcs
comme les rayons. Les rayons des diff
le même rapport.

...u de cordes, que nous supposerons sans ...r ses angles pour les forces P_1, P_2.... ...draient le système en équilibre, s'il était ...ue si ces forces étaient réunies en un seul ...n ce point parallèlement à leurs direc- ...en équilibre (art. 37). Toutes les forces ...quées sur l'un des angles du polygone, ...s directions actuelles, maintiendront donc ...re.

...est clair que si l'on suppose appliquée sur ..., dans la direction de sa longueur, une ...sur ce côté, et qu'on enlève toute cette ...qui est vers la direction de cette tension, ...restera en équilibre.

...liquons suivant la direction du côté $P_2 P_3$, ...tension de ce côté, nous pourrons enlever ...P_3 du polygone sans troubler l'équilibre ...que les forces appliquées à $P P_1 P_2 P_3$, le ...quilibre comme s'il était rigide, et que si ..., elles maintiendront ce point en repos. ...les forces agissant sur une portion quel- ...$P P_1 P_2$, sont telles que si elles étaient ...extrême P_2, elles seraient en équilibre ...côté $P_2 P_3$ se terminant à ce point.

...osition nous conduit à plusieurs conclu- ...importance en pratique. Supposons que les ...remplacées par des poids suspendus aux ...(*fig.* 151). Il suit de ce qui précède que si ..., étaient tous suspendus au point P_3 comme ...P'_2, et que la force P fût aussi appliquée ...sa parallèle P'; ces forces produiraient ...une tension qui existait déjà sur le cordon ...conséquence elles auraient cette tension ...de. Il s'ensuit dès-lors que plus les poids ...breux sur la branche $P P_3$ du polygone, ...grande sur le côté $P_3 P_4$. La tension sur ...entre est donc la plus grande à ses points ...la moindre au point milieu entr'eux.

...le. — Tout ceci a lieu, quel que soit le ...du polygone, et par conséquent pour un ...bre infini de côtés. Dans ce cas le poly-

en un seul point du système (art. 37) portions d'assemblage, chargées de poid sont plus près des points de suspension, à céder ; qu'aussi, quelle que soit la for assemblage *suspendu*, ce sera celle dans quand on le placera *debout*.

174. Quand un assemblage ou polygone de poids, est suspendu, son centre de gra le *plus bas*, et son équilibre est dit *stable* le dérange de cette position, il y reviendr nécessaire à la permanence d'un système ses parties soient rigides, ou ses angles l'on renverse cette figure, son centre de point le *plus haut*, et son équilibre devi sorte qu'une fois déplacé, le système n en équilibre, et que changeant de figur terre.

Pour l'équilibre continu d'une charpe donc essentiel que ses joints soient raidi avoir lieu par aucune particularité du j car les différentes parties d'un tel joint é mement près du centre vers lequel chaq mouvoir, sont, d'après le principe du le renversées par l'action d'une force, quelqu agissant à l'extrémité de la verge. Il est chaque joint soit raidi par une charpe cette nécessité de renforcer provient un nomie de l'assemblage suspendu, que de le polygone *suspendu*, ou courbe, la seul saire est que les parties ne se *brisent* pa celui *debout*, il faut se mettre en gard *flexibilité* que contre les chances de com ponts en chaînes de fer contiennent m et sont moins coûteux de beaucoup que en fer. D'un autre côté, une difficulté sé des ponts suspendus, est leur dispositio donnerons des explications à ce sujet, en namique.

175. Outre cette économie, résultant tité de matériaux nécessaires à leur cons suspendus ont une prééminence qui tie

indépendans du lit de la rivière qu'ils traversent. On peut aussi se frayer un passage dans un endroit qui serait impraticable soit par la rapidité du courant, soit par la hauteur des rives, et où l'on ne pourrait *fonder* les supports nécessaires aux arches d'un pont de *pierre* ou de *fer*.

176. Il y a plusieurs modes de donner de la rigidité à un système de verges; mais tous se réduisent, directement ou indirectement, à la disposition en *triangles* des verges qui le composent.

De toutes les figures simples de géométrie, le triangle est la seule dont on ne puisse altérer la force sans altérer les dimensions des côtés (1), et qui ne peut céder par conséquent sans que les angles se séparent ou que les côtés se brisent. Ainsi un triangle dont les angles ne peuvent se disjoindre et dont les côtés sont d'une force suffisante, est parfaitement rigide; et l'on ne peut en dire autant d'aucune autre figure plane. Un parallélogramme peut avoir ses côtés d'une force infinie, et ses joints assez solides pour ne pas se briser, et cependant être fait de manière que sa forme soit altérée par la moindre force qui agira dessus. Cela est vrai de toutes les figures de quatre côtés et de tous les polygones, à un degré moindre ou plus grand. C'est pour cela que dans tout assemblage, on prend soin de combiner, autant que possible, les compartimens en triangles. Ceci fait, on sait que la rigidité du système peut s'assurer en donnant une force convenable à la charpente et aux joints.

La charpente d'une simple barrière offre un exemple de ce principe. La forme extérieure est ordinairement un parallélogramme rectangulaire. Si les barres qui la composent (*fig.* 159) sont simplement disposées parallèlement aux côtés, en sorte que l'ensemble ne présente qu'une série de parallélogrammes, la barrière aura bientôt sa forme altérée.

Une barre diagonale (*fig.* 160) remédie au mal, en changeant les parallélogrammes en *triangles* et donnant une parfaite rigidité au système.

(1) C'est un corollaire de la proposition d'Euclide : « Que sur la même base et sur le même côté de cette base, il ne peut y avoir deux triangles ayant leurs côtés terminés à une extrémité de base égale l'une à l'autre, avec leurs côtés terminés à l'autre extrémité. »

177. Dans les cintres dont on se sert pour supporte[illegible] res qui composent une arche, au fur et à mesure qu'o[illegible] et *avant* que la mise en place de la clef les rende de se soutenir mutuellement dans leurs positions re[illegible] par leur pression; il est de la plus grande importanc[illegible] rigidité parfaite se conserve sous la pression énorme[illegible] gale à laquelle le système doit être assujetti. On y [illegible] en donnant une grande force aux charpentes du cint[illegible] disposant en triangles bien joints à leurs angles. La [illegible] représente un des cintres employés pour supporter le soirs de la grande arche du pont de Londres, pen[illegible] construction.

178. On donne quelquefois une forme triangula[illegible] compartimens de la charpente d'un pont de bois (*fig* ou du comble d'un large bâtiment, en combinant plusieurs polygones. Le dessin représente le comb[illegible] cour des douanes à Cherbourg; il est de très-gra[illegible] mension.

179. Si nous concevons un nombre infiniment g[illegible] polygones de ce genre, dont les côtés seront infinim[illegible] tits, la charpente deviendra une arche continue e[illegible] maintenant en usage pour les ponts et les comb[illegible] grands édifices.

La *fig.* 163 donne le dessin d'une arche de ce genr[illegible] 235 *fect* (71 mètres) de large. Il y en a un exemple à au manége militaire, et un autre au pont de Bamb[illegible] fut construit par *Wiebeking*. Le plus grand pont qui paraisse avoir été jamais construit, est celui Limmat, près l'abbaye de Weltingen. Il avait 390 *f*[illegible] mètres) de longueur; il fut bâti en 1778 par deu[illegible] pentiers, les frères *Grubenmann*, et fut détruit pe[illegible] guerre de 1799. Il était construit d'après le prin[illegible] arches en bois.

On peut construire des ponts excessivement plat[illegible] genre (*fig.* 164). Le pont appelé Oête, en Picard[illegible] par *Coffenette*, a 126 *fect* (48 mètres) de largeur, et s[illegible] ronnement est seulement de 6 *fect* 3 *inches* (1^{m}, [illegible] dessus de l'eau. Le pont sur le Schuylkill, à Phila[illegible] appelé le Colosse, est de 340 *fect* (103 mètres) de son élévation au-dessus de l'eau est de 20 *fect* (6 m[illegible] à son tablier de 7 *fect* (2 mètres) de largeur.

ıt d'une seule arche de 250 *feet* (76 mètres) de de 27 *feet* (8 mètres) de hauteur, a été consatagua, près Porsmouth, aux Etats-Unis, en 1796.

CHAPITRE XV.

libre de corps solides en contact. — 184. *L'Arche.* . *La ligne de pression.* — 189. *Les points de rup-* - 191. *La chute de l'arche.* — 192. *Tassement de* — 193. *Voûte et dôme.* — 194. *Histoire de*

›it MM_1 (*fig.* 165) un corps solide sollicité par e quelconque de forces P_1, P_2, P_3, etc.; la d'un certain nombre d'entr'elles, R, étant égale ı à celle des autres, R_1.

›ns le corps coupé par un plan MM_1; une quesésente quant aux *nouvelles* conditions nécessaires les forces qui maintenaient le corps en repos ›rmait une seule masse continue, persistent à l'y quand il est séparé en deux solides. Cette question grande importance dans la théorie de la construcous la discuterons avec détails.

uppesons que les forces agissant sur les différentes ı corps soient remplacées par leurs résultantes ui seront égales et opposées. La première condi-|ue la ligne suivant laquelle agissent R et R_1, longée, passe par le plan d'intersection MM_1. i elle tombait en dehors de ce plan (*fig.* 166), -à-fait évident que les deux parties du corps touruutour du point M. Les forces R et R_1 doivent fait, soutenues par les pressions sur les différens ı surfaces en contact. Ces surfaces doivent donc ı que les résultantes des pressions sur leurs diffés soient en direction opposée aux forces R et R_1. ésultantes sont évidemment *dans* les limites qui ıt les pressions elles-mêmes. Si donc les directions

de R et R_1 sont hors de cette limite, elles se soutiennes.

Pour que la résultante des pressions sur le sont en contact en MM_1, soit opposée à la RR_1, il n'est pas nécessaire que ces surface tinues; elles peuvent être appliquées l'une co un certain nombre de points isolés, la résulta sions sur elles ayant sa direction, comme ci l'espace renfermé par une série de lignes *dr* les points extrêmes d'application; tout ce qu que la direction des forces R et R_1 passe da (art. 56). Ainsi la masse peut être creuse, l contact formant un anneau continu; ou bien, faces peut s'appuyer contre la saillie de l'au

182. Cette condition n'est cependant pas l saire à l'équilibre des deux corps. Il est évid saire, en outre, que la direction des résultant fasse pas avec la perpendiculaire au plan M plus grand que l'angle limite de résistance aucune résistance d'une surface ne pourrait force que lui imprimerait l'autre, et les deux seraient l'une contre l'autre (art. 72).

Il faut donc que ces deux conditions soient que l'équilibre soit complet.

En voici un exemple des plus simples :

183. Soit demandé de déterminer dans que le fût cylindrique AB (*fig.* 167) doit être cou P, de manière que ses parties conservent le En premier lieu, il est clair que la résultante d sant sur la plus haute portion *coupe* le plan M n'étant autres que les poids de ces parties, tante agissant par leur centre de gravité. Il n de possibilité que cette partie supérieure *tour* de celle inférieure.

Pour empêcher que la portion supérieure l'autre, il faut seulement que la résultante tion est verticale, ne fasse pas avec la perpen un angle plus grand que l'angle de résistance déjà vu (art. 79) qu'il n'en peut être ainsi plan n'est pas incliné à *l'horizon* sous un an que cet angle. Menons donc, par le point do

M'.M'₁, inclinés à l'horizon, dans des directions es, sous des angles égaux à l'angle limite de résis- Alors le cylindre coupé dans toute direction inter- re à ces plans, restera la partie supérieure posée sur ıférieure.

Supposons maintenant que la masse A_3 A B B_3 (*fig.* lont le centre de gravité est en G, immédiatement au- de sa base, et qui se tient ferme tant qu'elle forme un :ontinu, soit coupée suivant les directions A_1 B_1, A_2 B_2, et lemande de déterminer dans quelles circonstances ce e de pierres, ainsi disposé, restera en équilibre. Prenons .re de gravité de la pierre la plus élevée, et G_2 centre de commun de cette pierre et de celle inférieure. Il est iécessaire, pour l'équilibre, 1° que la verticale G_1 g_1 le joint A_2 B_2, et que sa direction tombe dans l'angle de résistance; ou bien, en d'autres termes, que G_1 g_1 nbe pas au-delà du point B_2, ou que A_2 B_2 ne soit pas ı à l'horizon sous un angle plus grand que l'angle limite istance (art. 79); car, sans cela, la pierre A_3 B_3 A_2 B_2 ırait sur B_2 ou glisserait en bas de A_2 B_2. 2° Ceci ayant que la première pierre restera sur la seconde, il est ıaire en outre que la verticale G_2 g_2, du centre commun avité G_2, des deux premières pierres, coupe le plan A_1 t que ce dernier plan soit aussi incliné à l'horizon sous ıgle moindre que l'angle limite de résistance; autrement, eux premières pierres tourneraient sur le point B_1, ou raient sur la surface A_1 B_1. On peut faire voir de même, l la division est faite pour un grand nombre de parties, prenant le centre de gravité de la pierre la plus élevée, tre commun de gravité des deux plus élevées, celui des plus élevées, etc., et menant des verticales par ces ı, il faut que ces verticales, en premier lieu, coupent nts inférieurs de chacun des systèmes ainsi formés; et, ond lieu, qu'aucun des joints ne soit incliné à l'horizon ın angle plus grand que l'angle limite de résistance.

. Supposons que la pierre la plus élevée d'un système genre soit pressée par une force horizontale P (*fig.* les conditions de l'équilibre deviennent alors beaucoup ompliquées. Pour les déterminer, prenons une horizon- :N d'une longueur indéterminée et une verticale a b. Di- *a b en autant d'unités* qu'il y en a dans la force P, et

[illegible]

[illegible] perpendiculaire à sa direction. Prolongeons [illegible] du P jusqu'à ce qu'elle rencontre la verticale [illegible] par m_1, menons $m_1 m_2$ perpendiculaire à la [illegible] Cette ligne sera dans la direction de la rés[illegible] sion sur A₁ B₁.

Si de même l'on prend $b_1 b_2$, contenant a[illegible] de longueur ci-dessus qu'il y en a dans le [illegible] voussoir; puisque cette ligne et $a b_1$ représ[illegible] deur deux des forces agissant sur le second [illegible] perpendiculaires à leurs directions; si l'on [illegible] ligne représentera la troisième force, c'est-à- sur A₂ B₂ en grandeur, et perpendiculairem[illegible] tion.

Alors si l'on prolonge $m_1 m_2$ jusqu'à sa r[illegible] verticale de G₂ en m_2, et qu'on mène $m_2 m_3$ à $a b_2$, cette ligne sera dans la direction de l[illegible] pression sur A₂ B₂. Ainsi les lignes m m m

.e ligne ne coupe nulle part la surface extérieure
etc., ou la surface intérieure B₁ B₂ B₃ B₄, etc.;
upe l'une ou l'autre de ces surfaces en un point
, toute la pression de la construction en dessus
joint A B immédiatement au-dessous du point
, autour duquel il tourne nécessairement. Il est
lispensable à l'équilibre que les directions des
, $m_2\,m_3$, etc., suivant lesquelles agissent les pres-
fférentes surfaces, soient dans les angles limites
à ces surfaces.
nt les lignes $a\,b_1$, $a\,b_2$, etc., et les lignes $A_1\,B_1$,
si on les prolonge, font respectivement ensemble
le que les lignes $m_1\,m_2$, $m_2\,m_3$, etc., font avec les
iires aux surfaces des joints, les premières lignes
tivement perpendiculaires aux dernières. La con-
sus se réduit d'elle-même à ceci, que les lignes
c., et $A_1\,B_1$, $A_2\,B_2$, etc., étant prolongées, fassent
ent l'une avec l'autre des angles qui ne soient pas
que l'angle limite de résistance. Si elles sont pa-
e à l'autre, ou si elles ne font pas d'angles l'une
, alors les directions des pressions $m_1\,m_2$, $m_2\,m_3$,
erpendiculaires à leurs surfaces respectives, et les
lisseraient pas lors même qu'il n'y aurait pas de
Cette proportion dans les dimensions des pierres
les cette direction de pression s'exerce, est la
lée pour assurer la stabilité de la construction.
r déterminer ces dimensions, ayant pris encore
présenter la force horizontale P, et la divisant en
ités de longueur qu'il y a d'unités de force, nous
'à mener par a les lignes $a\,b_1$, $a\,b_2$, etc., paral-
nts successifs, et déterminer les nombres des unités
r de $b\,b_1$, $b_1\,b_2$, $b_2\,b_3$, etc., respectivement. Ces
nneront les unités de poids que les voussoirs res-
vent contenir.
es lignes $a\,b_1$, $a\,b_2$, etc., sont menées, faisant avec
es angles égaux à l'angle limite de résistance, et
e, comme tout-à-l'heure, des voussoirs contenant
ités de poids respectivement qu'il y en a de lon-
les lignes $b\,b_1$ $b\,b_2$, etc., alors les directions de
$_1\,m_2$, $m_2\,m_3$, etc., feront avec les perpendiculaires
s des *joints, des angles égaux chacun à l'angle li-*

mite de résistance, et les pierres seront sur le poin vers ... font leurs angles avec plus près de la verticale; elles seront sur le point vers le ... si elles s'en éloignent davantage. Les p prises de ces dimensions, la construction est dite de son mouvement. Elle résistera, en ce qui regi tement, sans aucun autre système de pierres inte

189. Il est évident que la situation de la ligne dépend de la grandeur de la force P. Si cette fo grande, elle coupera la surface extérieure, et si petite, ce sera la surface intérieure; dans l'un et l'équilibre sera détruit. La plus grande valeur l'équilibre, est celle qui fait que la ligne de pre juste en contact avec la surface extérieure; et sa leur est celle qui la met en contact avec la surfac Cette dernière est la force qui empêche la te construction à se précipiter vers P.

Supposons cette force P maintenue par une ég à une semblable construction, à la chute en direct il y aura formation d'une arche.

190. Les conditions d'équilibre d'une arche so ... celles que nous venons d'établir, avec ... additionnelle, que la ligne de pression toucl intérieure, nommée l'intrados, en certains poi ... les joints de rupture, et que la pression s a moindre possible que chaque demi-arche puiss

La ligne de pression ne peut pas ... l'intr che: car si cela arrivait, toute cette partie de la qui est au-dessus du point d'intersection, tour point immédiatement en dessous de ce joint. ... impossible, car, avec quelque force que cette ... à rouler, elle est contre-balancée par une tenda ... dans l'autre demi-arche.

Quoique la ligne de pression ne puisse pas co ..., elle peut cependant arriver à couper l'ex courbe extérieure de l'arche.

191. Supposons qu'elle coupe l'extrados en S la force sur l'arche, compris son poids, agissa elle était concentrée dans la ligne de pression, que les deux portions de l'arche, au-dessus de S qu'au couronnement, se renverseront sur les join

dessous de ces points. Mais l'arche cédant ainsi au sommet, les voussoirs supérieurs tendront à tomber en tournant sur leurs angles inférieurs, et cette sera plus grande aux points R et R' où la pression moins capable de résister à cette révolution. L'arche séparera au couronnement et aux joints immédiatement au-dessous de R, R', S, S'.

précisément ce qui a été observé entre la manière de d'une arche, dans les expériences faites à ce dessein Gauthey et le professeur *Robinson*.

premier minait les piles des vieilles arches pour les tomber, ce qui avait invariablement lieu comme nous de le détailler. Le professeur *Robinson* faisait des modèles et les chargeait sur le couronnement jusqu'à la ligne de pression coupât l'*extrados*; les arches s'écroulaient alors, et les expériences donnèrent constamment résultats.

évident que les matériaux de l'arche doivent également céder à ces points où la ligne de pression approche presqu'entièrement de l'intrados. Aussi, dans les expériences de *Robinson*, observe-t-on qu'ils se fendillaient et éprouvaient une rupture complète.

chargé ses arches au couronnement jusqu'à ce tombassent, il observa que les points où les matériaux commençaient à céder n'étaient pas précisément ceux rupture finale avait lieu. Ce fait présente une confirmation remarquable de ce que nous avons dit dans ce chapitre. Il est manifeste que suivant cette théorie, avec quelques variations dans la moindre force P (*fig.* 169) qui maintenait la demi-arche, si on l'appliquait à son sommet, il y un changement correspondant dans la position des R et R'. Or quand on accroît la charge sur le sommet l'arche, la force P croît évidemment. Il en résulte une variation dans la forme de la ligne de pression tendant à assurer de contact avec l'intrados un peu plus bas dans

précisément ce que le professeur *Robinson* observa. commençait à se détruire en un point à moitié distance sommet et du point où la rupture finale avait lieu.

distance des points R et R', autour desquels les deux supérieures de l'arche ont une tendance à changer, et

vers lesquels on observe que les matériaux cède
ont été dès long-temps connus aux hommes de pr
ingénieurs français les ont nommés points de rupt
che, et la détermination de leur position par un n
forme un trait remarquable de la théorie suspec
droite qui avait été jusque-là appliquée à cette br
statique.

192. On voit (*fig.* 170) qu'au-dessus des points
direction de la ligne de pression est telle qu'elle
les voussoirs une tendance à glisser *en bas* l'un
tandis qu'au-dessous de ce point il y a tendance
glissent *vers le haut*.

Il s'ensuit qu'on doit s'attendre que lorsque le
arche se déplace, le mouvement des voussoirs (pui
vent avoir un mouvement l'un sur l'autre, à raiso
le ciment cède, ou, s'il n'y a pas de ciment, à rai
tact trop rapproché auquel les condamne une pr
tionnelle) tend à faire glisser en bas ceux qui son
des points R et R', et à faire glisser en haut ce
au-dessous de ces points.

Ce mouvement des voussoirs entr'eux, par le
du centre, produit ce qu'on nomme le *tassemen*
et l'on observe que ce tassement a précisément
nous venons de le détailler.

Le célèbre ingénieur français *Perronet* nous a
son mémoire sur le cintrement et le décintrement
le détail des circonstances qui avaient lieu en plac
tres de nombre de grandes arches construites so
tion.

Au pont de Nogent, avant de remettre le cintre
il fit tailler trois lignes sur sa *face;* l'une *hori*
immédiatement au-dessus du sommet, et les deux
tant *obliquement* des extrémités de cette horizont
gées de chaque côté vers l'eau. Après que le cir
en place, on observa que ces lignes avaient leurs f
altérées, et même leurs positions relatives sur la f
che. Toutes ces trois droites étaient devenues d
L'horizontale avait *fléchi* dans toute sa longue
grande inflexion étant juste au-dessous de la clef
...it un mouvement vers le bas de tous les v
la ligne avait été tracée. Les lignes obl

ınt, de chaque côté, fléchi de leur position *vers le haut* ntrados de l'arche, ou *vers le bas* au-dessus de certains ts correspondans à R et R'; en dessous de ces points exion était à partir de l'intrados de l'arche ou vers le .

ısi, parmi les voussoirs sur lesquels les obliques avaient racées, il fut reconnu un mouvement *vers le bas* dans au-dessus de R et R', et un mouvement *vers le haut* ceux au-dessous de ces points.

s mêmes phénomènes furent observés dans le tassement res grandes arches construites par *Perronet*, et notam- dans celles du pont de Neuilly.

3. *Voûtes et dômes*. — Les théories de l'équilibre de la ı et du dôme sont entièrement analogues à celles de l'arche. ns la voûte, une masse s'avance en saillie sur une pile, ıtend symétriquement par rapport au plan vertical pas- par le centre de sa pile, jusqu'à ce qu'elle rencontre une e égale et semblable qui part d'une pile opposée.

ı n'est réellement rien autre chose qu'une arche dont les soirs varient aussi bien en *largeur* qu'en *épaisseur*. Le e de gravité des différens voussoirs élémentaires de cette e sont tous dans son plan de symétrie. La ligne de pres- est donc dans ce plan, et sa théorie rentre dans celle que avons donnée déjà. Pour les voûtes d'arête ordinaires sur re pieds droits, chaque pierre *opposée* se *contre-butte* et ue pierre adjacente se *réunit*, se prêtant un support mu- et formant une couverture continue.

ıtte voûte est la plus solide de toutes les arches, et si l'on matériaux de force suffisante pour les pieds droits et les es aux environs des saillies des arches, elle peut être de toutes grandeurs et couvrir des espaces considé- ıs.

est remarquable que les architectes modernes, qui ont ı les dimensions de l'arche simple jusqu'à leurs limites randeurs, ont été fort timides dans l'emploi de cette e.

ı4. Si au lieu d'arche en saillie, on suppose une voûte nue, diminuant ses dimensions à mesure qu'elle s'élève ırc-boutant de toutes parts à son couronnement, on a le ı, dont la théorie est évidemment analogue à celle de l'ar- et de la voûte d'arête.

195. *Histoire de l'arche.* — Le premier pont n'a proba-
blement été qu'un tronc d'arbre jeté d'une rive à l'autre de
quelque torrent de la montagne.

Le mode de communication étant ainsi fourni par accident,
les hommes ont aussitôt appris à l'employer en développant
les ressources de l'art; et quelque distantes que fussent
rives, ils apprirent à les joindre à l'aide de charpentes
maçonneries supportées par des piliers. L'application de
matière d'un pont semble avoir constitué tout l'art des
tructeurs jusqu'à une période comparativement ré
l'histoire du genre humain. Elle est cependant au
la navigation que peu convenable au passage des c
pides et profonds.

Aussi trouvons-nous que les Egyptiens, quoique
en foule sur les deux rives du Nil, n'ont jamais ét
fleuve de ponts permanens.

Le Tigre et l'Euphrate dont les rives étaient
d'une nation de la plus haute antiquité et d'une gra
lisation, les Chaldéens, n'avaient pas de ponts autre
ponts de bateaux; et du temps de Périclès il n'y av
pas de pont de pierre sur le Céphise à Athènes.

On dit la nécessité mère de l'invention; mais il est
choses auxquelles elle a été bien lente à donner naiss
découverte de l'arche en est un mémorable exem
Egyptiens, les Chaldéens et les Grecs furent tous d
bles maçons, et cependant ils ne surent jamais faire un
Les premiers Européens qui paraissent en avoir fai
couverte, sont les Etrusques; et les modèles d'arche
anciens ont été trouvés, dit-on, dans les ruines de
étrusque de Valaterra.

Les Chinois paraissent avoir connu le secret de l'a
temps immémorial. Il est réellement difficile de trou
disposition utile qui ne soit pas actuellement connu
peuple singulier, et une période dans l'histoire où il
connussent pas. Certainement ils employaient l'arche
temps avant qu'on y songeât en Europe. Elle couvre les
de leur grand mur; ils s'en servaient dans la construc
monumens élevés à leurs morts illustres (1) et pou

(1) Les arcs de triomphe et monumentaux sont tellement
qu'ils y donnent un caractère particulier aux

...ircher, dans son ouvrage *China illustrata*, parle de pierre de trois à quatre milles (4 à 5 kilomètres) de , et d'une arche de 600 *feet* (183 mètres) de large.

...trusques le secret de l'arche passa aux Romains, et fut employé à la construction de ponts sur le Tibre. Il ...te plusieurs, et ce ne sont d'ailleurs que des modèles de l'art de faire des ponts. Leurs arches étroites sont ...es sur des piles massives qui forment un obstacle sé... courant, et elles renferment un principe de faiblesse ... plus grande force.

...omains ont d'ailleurs construit dans d'autres parties ... provinces, des ponts d'une force et d'une beauté ex...aires. De tous ces ponts, celui d'Alcantara est le plus ...able peut-être; sa chaussée est de 140 *feet* (42 mèt.) ...s du niveau du courant qu'il traverse, et ses arches ...*feet* (30 mètres) de large. Il fut bâti par *Trajan*, sous ...duquel fut érigé aussi un pont sur le Danube, dont ...*sius* raconte diverses choses incroyables, quoiqu'il ...vu que ce que l'on en voit encore, la fondation d'un ...*rajan* avait bâti ce pont pour conquérir les Daces, et ...esseur le détruisit pour restreindre leurs excursions ...mpire.

...les temps orageux qui suivirent la chute de l'empire ...on ne bâtit plus de ponts. Les rivières furent, pour ...rt, passées à gué ou en bac; ce fut un sujet fréquent ...ats entre les barons voisins qui s'en emparaient tour... ...our rançonner les voyageurs.

...t au commencement du douzième siècle qu'un vacher, *Benezet*, parut dans la cathédrale d'Avignon, et an... la multitude la mission spéciale qu'il avait reçue du ...r l'érection d'un pont sur le Rhône en la cité d'Avi...

...es efforts presque miraculeux, ce singulier enthou... ...ussit, en peu d'années, à bâtir un pont, qui, tant par ...à sa dimension considérable que par rapport aux dif... ...que présentent les localités, mérite d'être rangé par... ...monumens les plus remarquables érigés par l'indu... ...ileté d'un homme. Malheureusement une cru...

...1. Il est remarquable que les Chinois et les Romain... ...nt érigé des arcs en l'honneur de leurs grands hommes.

Rhône l'a détruit en partie. Les travaux de *Benezet* ne cessèrent d'ailleurs pas avec le pont ; il obtint une place parmi les saints du calendrier romain, et devint le fondateur d'un ordre religieux, appelé les Frères du Pont, et qui construisirent quelques-uns des plus beaux ponts que l'on voit en Europe. Celui du Saint-Esprit sur le Rhin n'a pas moins d'un mille (1609 mètres) de longueur, et celui de la vieille Brioude sur l'Allier est une seule arche à plein cintre de 180 p (55 mètres) de large. C'était la plus grande arche connue jusqu'à celle de Chester qui a 200 *fect* (61 mètres). Le vieux pont de Londres, ouvrage de *Peter* de *Colechurch*, est de même date ; mais il souffrirait beaucoup à la comparaison de les travaux des Frères du Pont. Depuis ce temps jusqu'à présent, l'art de bâtir les ponts a fait des progrès continuels ; la plupart des rivières du continent sont couvertes d'arches immenses dont les travaux des premiers âges sont bien loin sous les rapports de la grandeur et de la perfection des détails.

L'art paraît avoir atteint son apogée dans les magnifiques constructions dernièrement érigées sur la Tamise, à Chester, et qui n'ont rien de comparable dans l'univers.

—

CHAPITRE XVI.

ité. — 199. *mode de détermination de la loi d'élas-*
r la torsion. — 201. *Expériences prouvant l'e-*
de l'élasticité du plomb, et sa loi. — 203. *Duc-*
204. *Altération permanente de structure in-*
207. *Etendue suivant laquelle la propriété de*
peut être développée. — 208. *Mesure de l'élasticité;*
'élasticité. — 209. *Compression directe ou exten-*
a force perturbatrice doit être appliquée au centre
de la section. — 210. *Compression oblique ou*
. — 211. *Axe neutre et surface neutre.*

e des matériaux. — Dans la partie précédente de
, nous avons supposé que les divers corps solides
'ons discuté l'équilibre, étaient composés de par-
les de séparation ou déplacement.

rps solides n'existent pas dans la nature, et c'est
.ion scientifique. Tous les corps qui nous envi-
ent plus ou moins et sont plus ou moins *com-*
); et toutes leurs parties semblent admettre un
'é de *déplacement* et de *séparation.*

d'après de nombreuses expériences faites sur

npressibilité de certaines substances a été affirmée, et
:lle de l'eau. On dit que des académiciens de Florence
ié de l'eau dans une sphère creuse en or, et clos hermé-
la soudant, l'ouverture par laquelle l'eau avait été in-
nt marteler la sphère et trouvèrent que plutôt que de di-
lume, l'eau se frayait un passage à travers les pores du
é depuis complètement affirmé que l'eau souffre la com-
l y a toute raison de croire qu'elle possède
mpressibilité en *commun* avec toutes les
ielles.

la force des matériaux, que le déplacement des par
corps solides est sujet aux lois suivantes :

197. 1° Que lorsque ce déplacement ne s'éte
delà d'une certaine distance, chaque particule ten
ner à la place qu'elle occupait précédemment da
dont elle fait partie, avec une force exactem
tionnelle à la distance suivant laquelle elle a ét

2° Que si ce déplacement s'étend au-delà d'
distance, la particule ne tend plus à regagner
position, et reste passivement dans la nouv
qu'elle a prise, ou prend quelqu'autre position
celle dont on l'a dérangée.

L'effet de la première de ces lois, quand il s
la tendance commune des particules qui compo
tion déterminée d'une masse, pour revenir à
relative au reste de la masse, ou relative l'un
dont ces particules avaient été déplacées, se
ticité.

Il y a lieu de croire qu'elle existe dans tous
tre des limites plus ou moins étendues, qui so
par la seconde loi ci-dessus énoncée.

198. Il est impossible, par aucun procédé d
placer aucune des particules d'un corps, dans
très-petit espace où s'exerce la loi de parfait
manière à mesurer la force avec laquelle cett
prend sa première position, et de déterminer
si cette force est ou n'est pas proportionnel
ment.

Au reste il y a plusieurs méthodes *indire*
duire le déplacement voulu et mesurer la for
loppe. La suivante est probablement la plu
meilleure.

199. Prenons un petit cylindre ou fil de la su
miner, et concevons-le divisé en un certain nom
cylindriques très-déliés, ou lames, formés p
imaginaires du fil faites excessivement près
le fil une fois en rond; il est évident que c
mes, en rouant tout le fil, a dû se mouvoir e
même distance de celle immédiatement en de
il n'y a pas de raison pour que l'une s'écarte p
Il est évident aussi que si nous prenons le

sur celle au-dessus, en commençant à partir du
ant ensemble tous ces déplacemens, leur somme
ıent la révolution que la plus basse lame du fil
. Ainsi l'angle sous lequel chaque lame est for-
r sur la surface de celle qui est au-dessus, peut
en divisant une révolution, ou quatre angles
nombre des lames (1), ou bien l'on peut trou-
ıce *actuelle* à laquelle chaque particule sur la
est amenée, en divisant sa circonférence ou
ɔnguenr; et supposant le fil formé de surfaces
ı avec sa surface *extérieure*, le déplacement de
ule contenue dans chacune d'elles se trouvera en
ıême *sa* circonférence par sa longueur.

ɔrs apparent que lorsqu'un fil métallique est plié
:une de ses particules supporte un certain dé-
pendant, pour sa grandeur, de sa position en
surface du fil.

: la masse ainsi roulée *retourne dans sa pre-
n*, quand on l'abandonne à elle-même, il s'en-
ue particule, à quelque distance qu'elle se soit
ître également rentrée dans sa première posi-
ort aux particules qui lui sont immédiatement

aussi que si toute la masse tend à reprendre
ont elle a été dérangée, avec une force pro-
ı l'angle de tension, chaque particule tend éga-
rendre la position dont elle s'est écartée, avec
portionnelle à la distance suivant laquelle elle
.

ıupposons que le tout se compose de cylindres
ıtriques, ou de tubes, et considérons chacun
.iculier; il est évident que le déplacement de
ɔarties est le *même;* et par conséquent *tout* le
ɜst proportionnel à celui de chacune des parti-
ıdre. Il est évident aussi que la *force* produi-
ement de chaque partie du cylindre est la même;

ident pour ceci qu'en accroissant ou en
, on peut varier la quantité du déplacem
'au *point où on le* désire.

donc toute la force déplaçant le cylindre est proportionnelle à celle produisant le déplacement de chaque particule.

Il en résulte que si toute la force est proportionnelle au déplacement qu'elle produit, alors chaque force partielle produisant est proportionnelle aussi à cette portion du déplacement total qu'elle produit.

Or, tout le déplacement des parties d'un cylindre ou d'un tube, est proportionnel à l'angle suivant lequel il est roulé. Si donc la force qui le roule est proportionnelle à cet angle, il suit de ce qui précède que la force produisant le déplacement de chaque particule est proportionnelle à ce déplacement. Supposons que des tubes semblables aux précédens soient placés l'un dans l'autre, formant un cylindre continu, et que des forces y soient appliquées, roulant tout sous le même angle. Alors si la somme de ces forces est proportionnelle à cet angle, il s'ensuit que chacune d'elles est proportionnelle; et s'il en est ainsi, dès-lors chaque particule, d'après ce que nous avons dit, est déplacée par une force proportionnée à son déplacement.

Mais la somme des forces produisant le déplacement des tubes élémentaires est la même que la force déplaçant le cylindre solide. Il s'ensuit donc que si cette force est proportionnelle à l'angle de torsion, la loi de parfaite élasticité a lieu par rapport aux particules qui composent le cylindre, chacune d'elles s'efforçant de retourner à sa première position avec une force proportionnelle à la distance à laquelle elle est écartée.

200. Les conditions supposées précédemment et qui remplissent celle de parfaite élasticité dans certaines limites, que nous avons établie au commencement de ce chapitre, sont précisément celles qu'on a prouvé s'obtenir de tous les corps solides que l'on a jusqu'ici soumis à l'expérience.

Il est certains corps dans lesquels on l'a depuis long-temps reconnu, comme par exemple dans l'acier et dans diverses espèces de bois; mais il y en a d'autres dans lesquels les propriétés élastiques ne sont pas apparentes du tout, et nous citerons un exemple de ces derniers.

201. Prenez un fil de plomb (1), d'un cinquantième

(1) Des expériences d'un genre semblable ont été faites avec une variété de substances, et toutes tendent à prouver l'existe

(5 dix-millièmes) de diamètre, et de dix *feet* (3 mètres)
g; fixons-le ferme au plafond, et laissons-le pendre
lement; attachons à l'extrémité inférieure un indicateur
à l'aiguille d'une montre; sur quelque chantier im-
ement au-dessous, divisons en degrés un cercle de cen-
respondant au point le plus bas du fil. Plions main-
le fil deux fois en rond, et abandonnons-le ensuite à
me. On verra enfin l'indicateur qui a été roulé deux
ec le fil autour de la circonférence du cercle, retour-
faire quatre révolutions entières, c'est-à-dire deux ré-
ns en arrière, ou bien au-delà de sa première posi-
il reviendra de nouveau dans la direction où on l'a
et après avoir long-temps oscillé en arrière et en
chaque oscillation diminuant d'amplitude, il revien-
n définitive, précisément dans sa première position.
ite, si les forces avec lesquelles l'aiguille, après avoir
tée sous différens angles, tend à retourner dans sa
ère position, sont mesurées avec soin, on les trouvera
rtionnelles aux angles de torsion (1).

l. Maintenant tordons le fil en rond quatre fois au lieu
ux. En l'abandonnant à lui-même, il oscillera comme
, et finira par rester en repos; mais il ne se trouvera
ns la position dont on l'avait retiré, et deviendra trop
pour cette position, presque de deux révolutions.
particules du fil ont donc quelques-unes d'elles dé-
s si loin qu'elles ne peuvent plus rentrer dans leur pre-
place, et un nouvel arrangement a lieu parmi elles :
ers le centre n'ayant été que faiblement déplacées, sont
lement toutes revenues; celles plus éloignées ont con-
ment subi un déplacement de plus en plus perma-
usqu'à ce qu'à la circonférence, le déplacement soit

priétés élastiques, même dans celles où l'on s'y attendait le
Un petit cylindre ou fil de terre à pipe, par exemple, étant
à la torsion, montra des propriétés manifestant l'existence
arfaite élasticité dans toutes ses particules, aussi bien qu'on
'espérer du meilleur acier. Seulement les limites de l'élasticité
fort différentes dans les deux cas.

y a tant de précision à cela, que des balances, dites de t...
s à mesurer des forces trop petites pour être sens
ordinaire, *ont été construites* sur ce principe.

égal à deux fois la circonférence du fil divisé par
gueur.

Le fil, dans ces circonstances, est dit avoir pris

203. Il est remarquable qu'après cette altération
sitions relatives des particules, elles semblent avoir
le même rapport entr'elles. Chaque particule est aff
les particules au milieu desquelles elle a repris
précisément comme elle l'eût été pour celles qu'elle
tées ; car si après avoir pris du *jeu*, on tord de nou
trouvera que l'élasticité est la même qu'avant.

Cette propriété en vertu de laquelle les particul
masse peuvent se mouvoir entr'elles, passant à chaq
velle position dans le même rapport à l'égard de
cules qui les entourent dans cette position, qu'elle
avec celles adjacentes à toute autre position précé
nomme *ductilité*. L'expérience précédente nous mon
deux des propriétés les plus importantes des corps

1° Leur élasticité résultante de la tendance de
particule à revenir à la position d'où elle a été
avec une force proportionnelle au déplacement.

2° Leur ductilité étant cette propriété par laque
placement, quand il est fait dans de certaines limit
certaines circonstances, se détermine *permanent*, les
les déplacées prenant de nouvelles positions dans
et entrant dans la même relation par rapport aux p
qui viennent à les environner, qu'elles l'étaient pa
à celles qui les environnaient précédemment.

204. Nous avons dit que le déplacement, qui app
son existence la propriété de ductilité, doit avoir
certaines limites et en certaines circonstances.

Si le déplacement est moindre qu'il n'est nécess
l'amener dans ces limites, la particule retournera,
de sa propriété d'élasticité, exactement à sa premi
tion et y restera. Si le déplacement de la particule
grand pour se tenir dans les limites de la ductilité,
tera pas, avec les particules dans la direction desq
été mu, dans la même espèce de relations dont il
aration partielle de la masse aura décidémen
ncerne chaque particule, ainsi qu'une
structure. Cette altération de structu
ntant par un nombre considérable d

s qui composent la masse, affectera sensiblement sa e. Elle peut d'ailleurs avoir lieu sans présenter à la sur- e de la masse aucune indication de ce changement inté- r qui s'est opéré. Ainsi un canon, s'il est tiré avec une ge de poudre produisant un effort (1) au-dessus de la e élastique de certaines portions de la matière dont il composé, éprouvera une altération permanente de struc- , et un second coup le brisera. Il a été prouvé qu'un n de grandes dimensions, ainsi poussé à bout par une ge excessive, peut être brisé en pièces par un seul coup marteau de forge (2).

'après le même principe, un fil peut être brisé en le t et le redressant plusieurs fois au même endroit. A e pli, une altération permanente de structure a lieu rapport à certaines particules qui composent la section laquelle on le courbe. Certaines de ces particules se ent l'une de l'autre, et par un pli répété, cette sépara- s'étend à la totalité d'une section du fil. Une altération ucture intérieure paraît s'opérer dans quelques corps par ence seule du temps. Ainsi la *pierre* n'a qu'une force incertaine; une altération de ce genre marchant *conti- ement* chez elle, sans que ses effets en soient apparens par un grand nombre d'années.

05. Les propriétés d'élasticité et de ductilité en vertu uelles les particules du corps peuvent subir un déplace- t sans altération permanente de structure intérieure, , pour la *pratique*, des plus importantes. Nous avons remarqué que la destruction de *force* de ce genre con- e dans un corps se *mouvant*, et qui s'exerce à *l'im-* ne peut avoir lieu si ce n'est avec un certain degré issement dans les parties de la masse contre laquelle

L'effort qui produit des altérations permanentes de structure varie quart à un cinquième de celui nécessaire pour produire une en- rupture.

Tout ce qui précède, dans l'auteur anglais, n'est relatif qu'aux s de fonte de fer; ceux en bronze s'étonnent, se fendillent, se rent; mais quand le bronze est convenable, ils n'éclatent jamais orceaux; et cela tient précisément à l'élasticité et à la ductili- alliage. N. du T.

saire pour produire un déplacement de la même unité pour une distance de D unités ou parties d'unité, sera égale à D fois M : appelons f cette force

$$f = M D.$$

Ainsi que nous le verrons, il y a une grande variété de moyens de déterminer la valeur de la force M. Le suiv[illegible] atteint très-bien ce but.

Soit une verge d'une substance dont le module d'élasticité M soit à déterminer, cette verge ayant une section égale à K d'unités carrées, et ayant L d'unités de longueur. [illegible] force quelconque F [illegible] uée à allonger ou à comprimer cette masse, soi[illegible] ion correspondante de longueur observée.

Maintenant la tension de p[illegible]t *en part* de la masse est la même. Chaque section trans[illegible]rsale est donc soumise à l'action d'une force égale à cet[illegible] force F qui est appliquée à l'extrême section. Chaque u[illegible]é d'une telle section est soumise à une force égale à $\frac{F}{K}$. L'extension ou la compression du total L d'unités de longueur étant l, *chaque* unité de longueur est étendue ou comprimée dans un espace égal à $\frac{l}{L}$. M est la force produisant chaque unité d'extension ou compression sur une unité d'aire et une unité de longueur.

Il s'ensuit dès-lors que la force nécessaire pour produire tout l'effet sur une telle unité est

$$\frac{M\ l}{L}$$

Mais la force agissant réellement sur une unité de l'ai[illegible] chaque section, et produisant cette extension ou compres[illegible] a été trouvée être $\frac{F}{K}$ d'où $\frac{F}{K} = \frac{M\,l}{L}$ et $M = \frac{F\,L}{K\,l}$.

Si E est la hauteur en décimètres d'un prisme, ou [illegible] substance quelconque, dont le poids soit ég[illegible] force M correspondante à l'élasticité de

ance, et qui a une section transversale d'une unité dans , appelant w le *poids* d'un décimètre de cette barre, aurons

$$w\,E = M,\ \text{d'où}\ E = \frac{F\,L}{K\,l\,w}$$

valeur de E ainsi prise est le *module de l'élasticité*. table à la fin du chapitre contient les valeurs des *mo- d'élasticité* et de la force M, déterminées par expérience, diverses substances, à l'aide de la compression pour la- le elles sont moindres en général que pour l'extension.

09. Supposons (*fig.* 172) une masse élastique A B C D inée par un plan rigide A B, soumise à l'action d'une e P, faisant mouvoir ce plan parallèlement à lui-même u'en A' B'. Chaque unité de la masse étant également dé- tée, toute la force P nécessaire pour produire ce déplace- nt, sera égale à la force M, multipliée par les unités de pace entre A B et A' B', ou si K est l'aire du plan

$$M \times K \times A\,A' = P$$

il suit

$$A\,A' = \frac{P}{M\,K}$$

uisque la force agissant sur chaque point du plan A' B' proportionnelle à la *compression* de la matière immédia- ent en dessous, et que cette compression est partout égale A', il s'ensuit que la pression sur chaque point de ce plan a même. Par conséquent, une plaque *uniforme* de quel- substance pesante peut être prise d'une telle épaisseur, yant précisément la même forme et les mêmes dimen- s du plan A' B', les poids de ses parties soient précisé- t analogues et égaux aux pressions supportées par les dif- ns points de ce plan. Or la résultante du poids des parties a plaque passe par le centre de gravité du plan A' B' ; la ltante des pressions sur ce plan passe donc par le même it, et il s'ensuit que la force P doit agir en ce point. Donc r produire ce mouvement du plan A B parallèlement à même, que nous avons supposé, il est nécessaire que la e P agisse au centre de gravité de ce plan.

Si la force P n'agit pas au centre de gravité de la AB, cette dernière prendra une position oblique A' B' (

210. Cette position oblique *coupera* sa position précédente. Dans la ligne d'intersection, la masse portera ni extension ni compression, et c'est là ce a fait donner le nom d'*axe neutre* de la section; ou en N. En alternant sa position, le plan A B a comprimé tière qui se trouve entre N B et N B', et permis l'exten celle qui se trouve entre N A et NA'. Si la masse est ap dans toute sa longueur, chaque section transversale se vera ainsi se couper, dans la nouvelle position qu'elle prendre, avec la position qu'elle occupait avant; chaque tion a dès-lors aussi un axe neutre, et la surface da quelle tous ces axes neutres sont compris, est la *surface* de la masse.

La force de la matière ne sera pas affaiblie, évidem en enlevant cette portion qui est immédiatement conti cette surface.

211. Considérons maintenant les circonstances qui vent nous mettre à même de déterminer la *position* de l' neutre.

On observera que les forces qui maintiennent le plan en repos, sont : la force P et les forces élastiques mises en tion par la compression de la masse entre N B et N B', par l'extension entre A N et A' N. Or ces forces élastiques sont, aux différens points de A' B', proportionnelles aux tances auxquelles l'extension ou la compression a eu lieu ces points; c'est-à-dire qu'en menant de ces points des pendiculaires au plan A B, les forces correspondantes séparément proportionnelles à ces lignes. Or une masse *sante*, précisément des dimensions de l'espace compris les plans N B et N B', passerait sur les différens points dernier plan, à raison de son poids, avec des forces ex ment proportionnelles aux lignes dont nous venons de Donc une semblable masse pourrait, en la prenant ment pour son poids, remplacer les forces élastiques sur De même une masse pesante, exactement des dimensions l'espace compris entre N A et N A', pourrait être prise remplacer les forces agissant en N A'; seulement sa gr ...osée agir *en dessus* au lieu d'en dessous.

ıne de ces masses sera partout d'une densité uniforme,
s pourront être de densités différentes l'une de l'au-
ison de l'inégalité des modules d'extension et de com-

u'alors les forces agissant sur différens points de A'B'
ntiques avec les poids des parties de certaines mas-
rmes des dimensions des espaces compris entre ce plan
il s'ensuit que les résultantes de ces forces passent
entre de gravité de ces masses. Ainsi la résultante
s sur le plan N B' passe par le centre de gravité de
N B B', et la résultante des forces sur N A' passe
entre de gravité de la masse A N A'.

a et *b* les points où les résultantes des forces sur
N B', respectivement, coupent le plan A B ; soit aussi
it d'intersection de P avec ce plan, et M le centre de
n plan. Appelant *m* et *m'* respectivement les poids
s des masses qui ont été prises pour remplacer les
r N A' et N B', nous avons, à raison des conditions
d'équilibre de forces parallèles (art. 46) :

$m \times$ (la masse N A A') $= m' \times$ (la masse N B B')
t aussi (art 45) :

$p = m \times$ (masse N A A') $\times$ M *a* $+ m' \times$ (masse
$\times$ M *b*.

ux conditions *sont suffisantes* pour la détermination
tique de la position de l'axe neutre, ainsi que nous
s dans l'appendice.

i la masse est rectangulaire, ou la section A B un
, M coïncidera avec l'intersection de sa diagonale,
l'axe de la masse, et l'on trouvera que M N, ou la
de l'axe neutre à l'axe de la masse, est égale au carré
e A B divisée par douze fois la distance M *p*; ou bien :

$$MN = \frac{\overline{AB}^2}{12\,Mp}$$

: suite :

$$Mp = 1/3\,MB,\ \text{ou bien} = 1/6\,AB;$$

$$MN = 1/2\,AB = MA.$$

dans ce cas, l'axe neutre est dans la surface de l'axe.

semblage en A. Puisque la masse N A A' finit en ce point, il s'ensuit que

$$P = m' \times (\text{masse } N B B') = \frac{1}{2} m' AB \times BB'$$

où B B' est la plus grande compression. Or, dans le cas de la compression directe (art. 209),

$$P = M' \times AB \times (\text{compression directe}).$$

Donc la compression oblique, quand la direction de la force perturbatrice P est telle que l'axe neutre est dans la surface de la masse, est égale à deux fois la compression directe, c'est-à-dire la compression produite par la même force P agissant au centre de gravité (art. 209). Si M p est moindre que $\frac{1}{3}$ M B, l'axe neutre est en dehors de la surface.

Dans l'un et l'autre de ces cas, la matière est évidemment comprimée dans l'épaisseur entière de l'assemblage.

Il paraît alors que pour que l'assemblage puisse supporter la compression dans une portion de sa section transversale et l'extension dans une autre, par l'action d'une force dans la direction de sa longueur, cette force doit être appliquée à une profondeur en dessous de sa surface, plus grande que le t de toute sa profondeur.

213. Si la force P, au lieu d'être appliquée dans la di tion de la *longueur* de la masse, est appliquée dans la d tion de sa *largeur* (*fig.* 174); alors, en supposant la m maintenue en repos par des forces appliquées à ses ex mités, *aussi* dans la direction de sa largeur, puisque les f agissant dessus peuvent se décomposer en deux séries, l'une formée de celles dans la direction de la *largeur* est *perpendiculaire* aux forces de l'autre, qui résultent de la c pression et de l'extension de la matière autour du plan et qui agissent dans la direction de la *longueur* de l'ass blage ; il s'ensuit que la résultante des forces de la prem série doit se trouver égale à zéro, ainsi que la résultante forces de l'autre série. En effet, prenant ces résultantes, seront évidemment en directions à angles droits l'une à l' tre, et devraient, si les *deux* résultantes n'étaient pas nu

…*cune*, qui serait la résultante

… c'est-à-dire que *toutes* les fo

ıme auraient une résultante de grandeur déterminée; ıe *peut pas être*, puisqu'elles sont en équilibre.

Les forces parallèles de compression et d'extension, t sur la section A'B', ont, par conséquent, une résul- ;ale à zéro. Il s'ensuit dès-lors que la somme des forces es par la compression est égale à la *somme* des forces es par l'extension (art. 46), et l'on a à raison de ce qui :

$$m \times (\text{masse N A A'}) = m' \times (\text{masse NBB'}).$$

module d'élasticité était le même pour la compression l'extension, et que la masse fût symétrique autour rtain plan auquel la direction de la force P fût perpen- 'e, ce plan serait le plan neutre de la masse. Ainsi le utre d'un assemblage rectangulaire le diviserait égale- t le plan neutre d'un cylindre serait un plan quel- passant par l'axe.

Puisque les portions de la matière dans le voisinage ı neutre ne supportent qu'une très-faible partie de pression, et ne fournisseut qu'une excessivement pe- tion des forces qui produisent l'équilibre, leur forme dimensions ne peuvent être que faiblement altérées; uit que la force d'un cylindre ne serait pas sensible- faiblie en coupant ces portions. Si la masse doit sup- une pression égale, non pas dans une *direction* seule- mais dans toute direction autour de sa surface, alors tions qui avoisinent le plan neutre peuvent être en- lans chaque position que prend le plan, à mesure que :tion de pression change. Or les parties du cylindre t autour de *chaque* position possible de son plan neu- les parties autour de son axe par lequel on a vu que neutre passe toujours, ou *dont* il ne peut dévier, sous 'apport, que d'une petite quantité résultant de l'iné- es modules de compression et d'extension.

i la force d'un cylindre pour résister à un effort trans- n'est pas sensiblement diminuée en enlevant les por- ıtour de son axe, ou bien en *le creusant*. Sa force sera 'rablement *augmentée*, si la matière prise dans l'inté- ıt accumulée sur sa surface extérieure. Or ayant à cons- ıne masse capable de supporter l'effort transversal, *éga-* en toutes directions, il est évident qu'on doit la façonner

en *cylindre* ; et ayant à la construire, avec une quantité donnée de matière, de la plus *grande force possible*, il s'ensuit qu'on doit la façonner en cylindre *creux*.

C'est *ainsi* qu'opère la nature, quand elle veut donner la plus grande force possible à une petite quantité de matière. Les os des animaux sont des cylindres creux. Dans la charpente des oiseaux, où il est surtout important qu'il y ait le moins de matière possible, afin que le poids soit *le moindre* possible, et où il faut une grande *force* cependant, le peu d'épaisseur des parois des os est remarquable. Les tiges de plantes sont ordinairement des cylindres creux, variables en épaisseur du sixième au d[illegible]le leur diamètre.

De même, les plumes d[illegible]ux sont des cylindres creux dans cette partie où, fais[illegible]tion du petit bras d'un levier, le tuyau de la plume [illegible]t l'effort des muscles puissans qui donnent le mouvem[illegible] l'aile. La légèreté de ces plumes comparées à leur force a [illegible]assé en proverbe.

Les arts se sont emparés de [illegible] principe de force, et ont imité la nature. Des colonnes de [illegible]er destinées à supporter de grands poids, se fondent creuse[illegible] D'après le même principe, les charpentes de fer se font *creuses* dans la direction où elles supportent la pression, et *étroites* dans la direction qui croise à angles droits avec celle-ci ; souvent elles sont évidées vers leur surface neutre.

216. Dans le cas d'une section rectangulaire, les masses NAA' et NBB' sont l'une à l'autre en raison des carrés de NA et de NB. Or l'étendue des surfaces souffrant la compression, l'extension peut être aisément déterminée par expérience. On n'a qu'à placer la charpente horizontalement à l'aide de chantiers ou autrement, et à la charger de poids ; comme elle cède à la charge, on distingue de suite les parties de la section qui sont comprimées et celles qui s'étendent sur sa surface.

Les masses NAA' et NBB' sont aussi l'une à l'autre comme les quantités m et m', par l'équation précédente ; nous avons donc une méthode-pratique de déterminer [illegible]rt de m à m'. Ce rapport est le même que celui d[illegible] d'extension et de compression à égales distances [illegible]utre.

[illegible] de charpente est rompue en deux m[illegible] [illegible]omprimées et étendues de la section s[illegible]

guer par l'apparence de la fibre. Où l'exten-
il se présente une série de points rompus
la rupture a eu lieu par compression, la
nparativement unie. Dans le voisinage immé-
neutre, il n'y a aucun changement apparent
de la matière.

hode suivante, de montrer les effets de la com-
l'extension des fibres de charpente, par l'ac-
transversal, a été fort ingénieusement ima-
amel.

:u de la solive on fait, à la scie, une incision
ts de son épaisseur; et dans le trait de scie
oin très-mince de bois dur.

ant alors supportée par ses extrémités, en
us la face où a été pratiquée l'incision, on
poids, et l'on trouva que malgré le trait de
des trois quarts de l'épaisseur du bois, la
si forte qu'avant.

ivante contient la valeur des quantités M et
our plusieurs substances diverses rangées dans
tique; elle contient en outre la pression que
'un *inch* carré (645 mil. car. 14476) de surface
sans altération permanente de structure; et
sa longueur à laquelle elle peut être étendue.

Table des

DÉSIGNATION des Substances.	M. un *inch* (25 milli. 3997) est pris pour unité.		*fe*
	lbs.	kilog.	
Acajou de *Honduras*	1596000	723581	657
Acier	29000000	13144250	855
Airain, *laiton de fonte*	8930000	4047522	246
Ardoise *Welsh*	15800000	7161350	324
Baleine	820000	371665	1458
Bronze à canons (8 cuivre et 1 étain)	9873000	4470957	279
Chêne anglais, bonne qual.	1700000	770525	4750
Eau	326000	147760	750
Étain *de fonte*	4608000	2088576	1453
Fer *malléable*	24920000	12294990	7550
Fer de fonte	18400000	8339800	5750
Frêne	1640000	906500	4970
Hêtre	1345000	609621	4600
Marbre *blanc*	2520000	1142190	2150
Mercure	4417000	2002005	750
Orme	1340000	607355	5680
Pierre de *Partland*	1533000	694832	1672
Pin jaune *d'Amérique*	1600000	725000	8700
Plomb de *fonte*	720000	326340	146
Sapin *rouge ou jaune*	2016000	954544	8550
Sapin *blanc*	1830000	828448	8970
	13680000	6200460	4480

sticité.

e chaque carré ar. 14476) orter sans ation ente de ture. kilog.	Parties de toute sa longueur que chaque partie de la masse peut souffrir s'étendre.	NOMS des Observateurs.
1922	420	Tredgold.
20396	»	Docteur Young.
2991	1333	Tredgold.
»	1370	Tredgold.
2337	146	Tredgold.
4532	960	Tredgold.
1768	430	Tredgold.
»	»	Young, calculé d'après canton.
1305	1600	Tredgold.
8068	1400	Tredgold.
8158	1204	Tredgold.
1595	464	Barluw.
1079	570	Barluw.
»	1394	Tredgold.
»	»	Canton.
1469	414	Barluw.
»	»	Tredgold.
1768	414	Tredgold.
680	480	Tredgold.
1944	470	Tredgold.
1192	504	Tredgold.
2584	2400	Tredgold.

CHAPITRE XVII.

218. *Stabilité des masses dont les bases sont des surfaces* — 219. *Stabilité quand les bases sont des surfaces* — 220. *Quand la surface sur laquelle pose la* *une surface courbe.* — 221. *Sur des surfaces* *repos.*

218. *Stabilité des corps pesans.* — Si un corps en repos dans une position quelconque par certai qui lui sont imprimées, est mu hors de cette pos l'action d'une autre force, ce peut être une questi voir si, quand cette dernière force est ôtée, le vertu des forces qui lui sont imprimées, tend à vers sa première position, ou à s'en éloigner.

Dans le premier cas on dit que son équilibre e et dans le second, qu'il est *instable*.

La masse ABCD est en équilibre dans ses deux (*fig.* 175 et 176). La verticale menée par le centr vité G, passant, dans l'une par le point H de la corps, et dans l'autre par son angle A', la résul poids de chacune de ses parties étant, dans les supportée par la résistance qu'oppose la surface su repose le corps.

Cependant il y a cette différence importante, deux positions, que la première est une positio libre stable, puisque si le corps s'incline dans un quelconque entre cette première et la seconde, par l'action de son poids, à y retourner, et qu'il nera en effet si on l'abandonne à lui-même; tandis la seconde position, pour peu que le corps se meu *dra* évidemment à s'en *éloigner,* et s'en *éloignera* ment s'il est abandonné à lui-même, jusqu'à ce révolution le ramène enfin à quelque position stab

st peut-être impossible, *dans la pratique*, de *placer* rps exactement dans la position de la *fig.* 176. S'il ssi abandonné à lui-même, n'étant pas dans cette po-, ce n'est pas à celle-là qu'il reviendra, et il s'en éloi- continuellement, au contraire. Alors, puisque le corps ut être artificiellement *placé* dans une position d'équi-instable, et que placé hors de cette position il ne la rche pas de lui-même, il est impossible qu'il *soit* tou- dans une telle position de manière à y *rester*. Ainsi, y avait pas certaines de ses positions où l'équilibre fût, le corps serait perpétuellement dans un état ins-

. Si AC se trouve perpendiculaire au plan sur lequel ps repose, l'angle GAC sera celui dans lequel on le ourner entre sa première et sa seconde position; ou a son inclinaison dans sa seconde position. Or l'angle est égal à l'angle AGH. Le corps, pour être amené première à sa seconde position d'équilibre, doit, par ment, être incliné suivant un angle égal à celui que ligne joignant son centre de gravité avec l'angle au- lequel on le fait tourner, et la *verticale* passant par entre de gravité.

plus le centre de gravité du corps est *élevé*, *moindre* t angle. Si donc le centre de gravité était en *g*, au lieu en G, l'angle eût été A*g*H, au lieu de AGH, et et évidemment *moindre* que l'autre. Il s'ensuit dès- ue plus le centre de gravité d'un corps se trouve élevé sus de sa base, moindre est l'angle suivant lequel on l'incliner sans arriver à une position d'équilibre ins-

le corps incliné *au-delà* de sa position d'équilibre in- est abandonné à lui-même, puisqu'il *s'éloigne* de cette on, il se renversera évidemment.

 légère inclinaison d'un corps haut et debout suffit our le renverser, surtout s'il est chargé par en haut nière à exhausser son centre de gravité. Une tour éle- renverse facilement; un homme de haute stature moins ferme qu'un petit homme sur ses jambes; un le dont le poids est en haut, ou pesamment chargé en verse facilement.

. Si la partie sur laquelle repose un corps est une sur-

face courbe, il est nécessaire à son équilibre, en une position quelconque, que la verticale de son centre de gravité passe, dans cette position, par le point où le corps est en contact avec la surface qui le supporte (art. 55). Ceci étant, si le corps est mu hors de sa position, de manière à se trouver en contact avec la surface de support par quelqu'autre point A' (*fig.* 177), la verticale G H du centre de gravité passera par ce point, ou s'éloignera du côté autour duquel le corps a tourné, pour venir vers *celui* sur lequel il tourne. Si la verticale, dans la seconde position, passe par le point de support, aussi bien que dans la première, le corps restera en repos dans cette seconde position; s'il ne le fait pas, il retournera de cette position dans la direction vers laquelle se trouve le centre de gravité; c'est-à-dire il retournera vers sa première position, ou s'en *écartera*, suivant que le centre de gravité, par rapport au point de support, s'*approchera* ou s'*éloignera* de cette position. Dans le premier cas l'équilibre est stable; dans le second il est instable.

Maintenant il est évident que G, par rapport à A', s'*approche* de la première position du corps ou s'en éloigne, suivant que A G est moindre ou plus grand que AO; cette condition détermine donc le caractère de l'équilibre. Si AG est moindre que A O, il est stable; s'il est plus grand, il est instable.

Si la masse, comme on le voit dans la figure, repose sur un plan horizontal, la verticale du point de support est perpendiculaire à la surface du corps en ce point.

221. Supposons que la partie de la surface du corps qui pose sur le plan soit une portion de sphère. Alors, puisque les lignes A O et A'O sont perpendiculaires à la surface de la sphère aux points A et A', le point O où elles se rencontrent en est le centre. Il s'ensuit dès-lors que l'équilibre d'une telle masse est stable ou instable, suivant que son centre de gravité est *en dessous* ou *en dessus* du centre de la sphère dont sa base est un segment.

Si le centre de gravité de la masse *coïncide* avec le centre de la sphère, l'équilibre ne sera ni stable, ni instable, et il sera dit *indifférent*. Dans quelque position que le corps soit mu, la verticale de son centre de gravité passera par son point de support; il restera donc en repos dans cette position

a pas de tendance à se rapprocher ou à s'éloi-
'eau de la position précédente.

e corps a non-seulement une base sphérique,
une sphère *complète*, son centre de gravité coïn-
nment avec son centre géométrique ; et par con-
s quelque position qu'il soit placé, il y restera
nt. Mais si la partie supérieure était un cylin-
a partie inférieure fût une sphère, alors, pourvu
ier fût assez élevé pour amener le centre de gra-
emble au-dessus du centre de la sphère qui forme
érieure, l'équilibre serait instable, et le corps
se maintenir en repos sur sa base sphérique. Si
pouvait être choisi de grandeur convenable pour
de gravité *coïncidât* avec le centre de la sphère,
ors serait *indifférent*; si on le prenait d'une hau-
le centre de gravité fût *au-dessous* du centre de
équilibre alors serait *stable*.
du corps est une hémisphère, et la partie supé-
ne droit dont la hauteur soit égale au rayon de la
pliée par la racine carrée de 3, le corps restera
sur un point quelconque de sa base hémisphé-

r déterminer le caractère de l'équilibre d'un
point quelconque de la surface sur laquelle il
'a qu'à le déplacer à la plus petite distance con-
ette position ; car alors, quelque faible que soit
nt, si son équilibre est instable, il s'éloignera
ent de sa première position ; s'il est stable, il y
Donc tout ce que nous avons dit, par rapport au
l'équilibre en A, est vrai, quelque près que A'
lui.
it, quelle que soit la forme de cette partie de
ır laquelle un corps puisse reposer ; on peut
sphère de telle dimension et dans une telle po-
coïncide exactement avec cette surface, immé-
ıtour d'un point qui y serait donné.
peut trouver une sphère qui coïncide exacte-
surface immédiatement environnant le point A.
se nomme la sphère de courbure, et son rayon
courbure; la longueur du rayon de cor
ut cas, être exprimée par certaines fo

algébriques. Or si A' est immédiatement adjacent à
trouve dans la surface de la sphère de courbure, en
et AO, A'O sont perpendiculaires à la surface
sphère, dont O est le centre par conséquent. La pro
générale peut s'énoncer ainsi qu'il suit :

« L'équilibre en un point quelconque sur lequ
le corps, est stable ou instable, suivant que le centr
vité est *en dessous* ou *en dessus* du centre du cercle
bure en ce point. »

225. Si le corps, au lieu de reposer sur un plan
tal, repose sur une surface d'une inclinaison quelc
sur une autre surface courbe (*fig.* 178), la vertical
point de support, dans la seconde position, ne ser
long-temps perpendiculaire à cette surface en ce poin
sera d'être le centre de la sphère de courbure en A.
comme précédemment, s s'approche plus de A
le corps abandonné à lui-même roulera en *arriè*
première position; s'il s'en éloigne, il roulera plu
core *hors* de sa première position. Si donc la surf
quelle repose le corps est convexe, comme elle
la *fig.* 178; alors le corps roulera *en haut* par
poids, ou contrairement à la direction dans laqu
poids. Puisque l'équilibre est stable ou instable, s
AG est moindre ou plus grand que AO, il devi
tant de déterminer la grandeur de AO.

Supposons A' excessivement près de A, et men
perpendiculaire à la surface de chaque corps en
seront les centres des sphères de courbure des de
en A et *a*. Or, puisque le corps est excessivement
chi de sa position d'équilibre, A et *a* sont très-prè
cider, et la figure formée par les lignes AC,
peut être considérée comme un triangle *complet*.
on a, par la propriété des triangles semblables,

$$Cc : CA' :: CA : AO$$

Or C *c* est égal à la somme des rayons de cou
et *a*; car puisque C et *c* sont les centres des
courbure en A et *a*, A' étant très-près de A et
hères, il s'ensuit que C A' et *c* A' sont les
A' est aussi le rayon de courbure en *a*,
nsi tous les termes de la proportion ci-

eption du dernier ; on peut donc l'en tirer par ation arithmétique nommée règle de trois. rtion est mise en équation et réduite, on trou- rapport suivant entre A O et les rayons de et *a*; ces derniers étant représentés par R et *r* :

$$\frac{1}{AO} = \frac{1}{R} + \frac{1}{r}$$

artie de la surface d'un corps peut être disposée e la verticale de son centre de gravité ne puisse, ition du corps reposant sur un plan horizon- r son point de support. Si l'on pouvait for- ce qui se replierait ainsi dans *elle-même*, de elopper complètement ou à contenir une masse lques-unes de ses parties; alors une telle masse, ait placée sur un plan horizontal, serait dans n *repos* perpétuel; elle roulerait constamment , et le problème du mouvement perpétuel se- ais il n'existe pas de surface de ce genre. Une lant les propriétés dont nous venons de parler, ment une surface spirale ; elle ne peut se re- -même et ne peut *complètement* contenir au- lide ou quelques-unes de ses parties.

ne telle surface ne peut que faire *partie* de la olide, et tant qu'elle est supportée par un point on de sa surface, le solide continue à tourner. rface peut être engendrée dans ces conditions euille d'un cylindre. Tenant la partie déroulée *déployée*, son bord décrira dans l'espace une e, appelée *volute*.

179) est le cylindre générateur dont la surface irée. La propriété caractéristique de la surface u'une ligne quelconque *p a* menée perpendicu- un point quelconque *p* sur elle, si on la pro- *touche* nécessairement la surface du cylindre, t perpendiculaire à la surface de la spirale nt perpendiculaire au plan horizontal qui nt.

, puisque la verticale PA *touche* la surfac ne peut pas, quand on la prolongerait,

un point *dans* cette surface. Si par conséquent la st rgée de manière que son centre de gravité G ns le cylindre générateur, alors la verticale ort ne passera jamais au centre de gravité; ient, la verticale du centre de gravité ne par le point de support; conséquemment la masse ne peut jamais se maintenir en repos sur sa surface spirale. En réalité, elle roulera jusqu'à ce qu'une extrémité de la spirale arrivant en contact avec le plan, fournisse un *second* point de support, et arrête ainsi la révolution subséquente.

CHAPI XVIII.

226. *Principe des vitesses virtuelles.* — Si l'on applique un nombre quelconque de forces aux différens points d'un système en équilibre; et que ces points admettent un *déplacement*, les circonstances de leurs relations et dépendances mutuelles restant sans altération; de plus, si la nature du système et des forces qui lui sont appliquées, est telle que les points d'application étant alors ainsi altérés suivant certaines conditions, l'équilibre puisse *subsister;* alors il existera la relation remarquable suivante entre les forces et les distances suivant lesquelles leurs points d'application ont été mus.

Si d'une extrémité P', de la ligne PP' (*fig.* 180), représentant le déplacement *excessivement petit* d'un point d'application P, on mène une perpendiculaire P'm sur la direction P de la force avant son déplacement; et qu'on nomme *vitesse virtuelle* de la force P la perpendiculaire Pm interceptée entre le pied *m* de la perpendiculaire et le point P; alors chaque force du système étant multipliée par sa *vitesse virtuelle*, prise de même, la somme de ces produits à l'égard des points d'application qui, par le déplacement du système, ont été mus *vers* la direction des forces qui leur sont imprimées, sera égale à la somme de ceux pris de ces points qui ont été mus *loin* de cette directi

Ce principe important est celui des vitesses virt

)n le prouve ainsi qu'il suit : chaque point d'appli-
'une force peut être supposé se maintenir en
ır l'application de deux forces opposées égales,
nt la force P actuellement appliquée en ce point,
s p étant la résultante des résistances ou tensions
provenant de sa connexion avec les autres parties
ıme. Or supposons ces résistances et ces tensions
, et remplacées par un système de poulies dans
s le même cordon passe sur toutes. Le plus con-
que l'on puisse concevoir, sera probablement un
semblable à celui de *Withe* (article 157). Les
séparées ne doivent pas d'ailleurs être fixées dans
) chape, mais être mobiles séparément sur un
mun. Que chaque système ait autant de cordons
ı d'unités dans la force qu'il est destiné à rempla-
rs la tension sur chaque cordon sera égale à une

ısons que le *même* cordon passe sur tous les diffé-
tèmes; alors si le bout des cordons est fixé au centre
emière chape mobile, et si l'autre bout pend libre-
r l'extrême poulie de la dernière chape fixe; un poids
unité de force, attaché à ce dernier bout du cordon,
ıdra le tout en repos dans les circonstances que nous
upposées. Chaque système de poulie fournira une
;ale à la résistance ou à la tension qu'il doit rem-

ıngement que nous venons de décrire est celui de
181 : P_1, P_2, P_3, P_4, sont les points d'application
es du système, et les résistances ou tensions sur ces
ont supposées remplacées par les systèmes de pou-
B_1, A_2 B_2, A_3 B_3, A_4 B_4, dont A_1, A_2, A_3, A_4,
chapes *fixes*, et B_1, B_2, B_3, B_4, les chapes mobiles.
ı les suppose toutes sans poids; et chacune contient
de poulies séparées qu'il y a d'unités dans la force
ndante. Un cordon est attaché au centre de la pre-
hape B_1 et passé autant de fois autour des poulies de
ape et de la chape A_1 qu'il y a d'unités dans la
P_1. Alors il passe sur la chape A_2 et tourne au-
fois sur les poulies de cette chape et de la chape
y a d'unités dans la force P_2; puis de là au sys

tème A. B., fournissant encore là de nouveau brins qu'il y a d'unités dans la force P.

A l'extrémité du brin qui pend sur la dernière de la chape A. est attaché un poids p égal à l'unité. que nous ne supposons pas de rigidité à la cor frottement sur les axes des poulies, il est évident que la tension sur la corde est partout la même dès-lors égale à l'unité. La tension sur le premier est égale aussi à la tension sur chaque brin du systè multipliée par le nombre des brins. On a vu que sur chaque brin était d'une unité; donc toute la t le point P. est égale à autant d'unités qu'il y a de br par hypothèse, il y a autant de brins que d'uni force agissant en P.; il y a donc autant d'unit tension en P. que dans la force qui s'y trouve la tension est dans une direction opposée à la fo point P., dès-lors, est en équilibre; l'action d de poulies A. B. remplace exactement les résista tensions qui sont fournies par la connexion et l des différentes parties du système au point où l est appliquée. La même chose peut être prouvée autres points d'application P., P., P.. Le système que nous avons supposé, supplée donc à tous les p plication des forces exactement équivalentes aux et aux tensions supportées avant en ces points.

Supposons maintenant que les points P., P. P. se meuvent à une petite distance quelconque, et direction quelconque, simplement soumis à cette que dans la nouvelle position qu'ils vont occuper chaque position intervenant, ils soient en équilib les résistances et les tensions sur leurs divers po plication restent les mêmes. Puisque les tension points P., P., etc., restent les mêmes dans ce mo les tensions sur les brins des systèmes appliquées à restent les mêmes, et la tension sur chaque partie queue du brin qui passe autour d'eux tous, reste Alors, puisque la tension sur cette partie du brin porte p ne s'altère pas, il s'ensuit que p est toujou balancé par elle, et ne doit pas se mouvoir. Il s'en que le brin tiré en bas par ceux des systèmes A, B etc., dans lesquels les chapes, par le mouvement

, etc., etc., tendent à *s'approcher* l'une de l'autre, est
, haut par ceux des systèmes dans lesquels les chapes
nent l'une de l'autre; car autrement, quelque portion
in serait tirée en bas du dernier système, et v se
ait.

si la somme des brins *tirés vers le bas* par une partie
ème est égale à la somme des brins *tirés vers le haut*
resté.

ntenant le *rapprochement* ou *l'éloignement* des chapes
que système, à raison du mouvement du point d'ap-
on correspondant, est en réalité la *vitesse virtuelle*
point. Reportons-nous à la *fig.* 180, nous verrons
distance du point P de O, qui peut représenter
re de la chape fixe A_1, est diminuée, quand la dis-
PP_1 dans laquelle il se meut est petite, d'une quan-
ale à Pm, puisque l'angle mOP' étant petit, Om
ire considérée comme égale à OP'.

e égalité s'obtiendra exactement aussi pour chaque
e dans laquelle les points d'application peuvent être
pourvu que nous supposions que les forces appliquées
t toujours parallèles à leurs premières directions. En
les chapes fixes A_1, A_2, A_3 doivent être fixées à dis-
infinies des chapes mobiles; hypothèse qui du moins
rte aucune atteinte à la démonstration, la longueur du
étant entièrement arbitraire. *Dans ces circonstances* les
s *virtuelles* peuvent donc être supposées se rapporter
lques mouvemens des points d'application, quelque
s que soient ces mouvemens.

rs, puisque la quantité dont les chapes s'approchent
loignent l'une de l'autre, sont les *vitesses virtuelles* des
que supportent les brins passant sur ces chapes; puis-
brin tiré vers le bas par ces chapes est égal à autant
s ce changement de distance des chapes qu'il y a de
passant d'une chape à l'autre; puisqu'enfin le nombre
ins est égal au nombre d'unités dans la force corres-
nte; il s'ensuit que représentant ce nombre d'unités
la force appliquée en P_1, par P_1, et la vitesse vir-
de cette force par n_1, la quantité de brins tirés vers
par le premier système est $P_1 n_1$. De même $P_2 n_2$
lle des brins tirés vers le bas par le second système,
présentant le *nombre* d'unités dans la force appliquée

en P_3, et n_3 sa vitesse virtuelle; et ainsi de suite. des quantités du brin tiré vers le bas par les se rapprochent l'une de l'autre, est égale à la celles du brin tiré vers le bas par les chapes qui l'une de l' utre; en conséquence, la première ét avec un ne négatif, nous aurons

$$\ldots n_1 + P_2 n_2 + P_3 n_3 + \text{etc.} = 0$$

On comprendra peut-être mieux ceci par son à quelques exemples.

228. Prenons le cas de la roue et de son essieu Il est clair que si la puissance et le poids sont dans une certaine position de l'une et de l'autre libre existera aussi dans une autre position. Leurs en outre, conserveront toujours leur parallélisme Le système appartient donc à cette classe à l'é quelle le principe des vitesses virtuelles a été prouv quelle que soit l'étendue du mouvement qui lui niqué. Dans ce cas aussi, la vitesse virtuelle de l'espace qu'il décrit, puisque l'une et l'autre, dans position, occupent un point de la ligne où la forc sur lui agissait dans sa première position (1). Dès-l posant que la puissance P_1 donne le mouvement a appelant n_1 et n_2 les espaces qu'ils décrivent resp et affectant le dernier du signe négatif, puisqu'i dans une direction opposée à celle dans laquell laquelle il correspond, agit, on a

$$P_1 n_1 - P_2 n_2 = 0, \text{ ou bien, } P_1 n_1 =$$

On voit, d'après cela, que la puissance mu l'espace qu'elle décrit, est égale au poids multip pace qu'il décrit; et autant de fois la puissanc *dre* que le poids, autant de fois est *plus grand* l' lequel il se meut (2).

(1) On le verra aisément en se reportant à la *fig.* 180, supposé se mouvoir dans la ligne P O, le point P' étar ligne, et P P' coïncidant avec P *m*.

(2) Ce principe est bien connu des ouvriers qui l'én e que l'on gagne en puissance, on le perd en vitesse.

es espaces n_1, n_2 sont évidemment égaux à ces parties irconférences des deux cercles d'*où* et *où* vient le brin; ant opposées à des angles égaux ou cercles (chaque le étant égale à l'angle suivant lequel l'essieu a tourné), sont l'une à l'autre comme leurs rayons.

nsi n_1 et n_2 sont respectivement l'une à l'autre comme ayons de la roue et de l'essieu, et nous avons comme édemment (art. 113),

$$\times \text{ (rayon de la roue)} = P_2 \times \text{ (rayon de l'essieu)}.$$

29. Prenons le plan incliné pour second exemple, et osons que la force N (*fig.* 57) agisse *parallèlement* lan, et aussi que l'on omette la considération du frotent.

pposons que la masse M descende *toute la longueur lan*. Etant en équilibre dans une position, il sera évient en équilibre s'il se maintient dans une autre po-, les forces conservant toujours leur parallélisme. Le re donc dans celui où l'on a démontré que s'applique incipe des vitesses virtuelles, quelle que soit l'étendue ouvement. La *vitesse virtuelle* du poids M est, aussi ce cas, la hauteur du plan, et la vitesse *virtuelle* de t la longueur du plan. On a donc

$$\times \text{ (longueur du plan)} = M \times \text{ (hauteur du plan)}.$$

e qui se rapporte à ce que nous avons prouvé précément (art. 85).

30. Prenons pour troisième exemple une seule poulie ile (*fig.* 136). Il est évident que le système est de cette e pour laquelle le principe des vitesses virtuelles a été uvé, et que les vitesses virtuelles de P et de R sont les ces qu'ils décrivent; appelons-les donc n_1 et n_2, et s aurons

$$Pn_1 - Rn_2 = 0.$$

n a aussi $n_1 = 2n_2$; car chacune des deux parties du qui supporte R, est raccourcie de la distance n_2; par séquent tout le brin supportant la poulie mobile est raccrci de *deux fois* cette distance. La puissance se meut c dans deux fois cette distance; ou bien $n_1 = 2n_2$, 2. $n_2 - Rn_2 = 0$ et $2P = R$.

231. On peut voir de même, dans le premier système de

[illegible]

[illegible] Ma[illegible] [illegible]

[illegible] vitesses [illegible].

P [illegible] — R [illegible] = 0 : P [illegible] — R [illegible]

Résultat identique avec celui déjà o[illegible]

Un semblable raisonnement peut s[illegible] systèmes de poulies.

Le principe des vitesses virtuelles [illegible] là-même à la solution de toutes les q[illegible] dans la considération desquelles la res[illegible] fréquemment n'entre pas. En réalité, le [illegible] *des moments* et celui du *parallélogram[illegible]* de toute la science, s'en déduisent ai[illegible] le verrons dans l'appendice.

232. Nous avons prouvé le princi[illegible] tuelles dans la supposition que les for[illegible] tème restent en équilibre, quelle que [illegible] prennent leurs points d'application. Il [illegible] nous avons vu qu'il s'obtient, quelles [illegible] tances où ces points sont mus, pourv[illegible] forces qui leur sont imprimées cons[illegible] parallélisme. Le même principe, d'ai[illegible]

quelle repose la démonstration, et peu importe
s circonstances elle est faite.

ı parle de vitesses virtuelles, on entend ordi-
ps elles ont lieu à l'égard des mouvemens infini-
des parties d'un système. Le principe des vi-
elles peut donc être établi sous la forme la plus
insi qu'il suit :

nombre quelconque de forces, en toutes circon-
t en équilibre, et que l'on communique à quel-
s leurs différens points d'application, ou à tous,
nens infiniment petits, en direction quelconque;
iverses vitesses virtuelles de ces points, mul-
r leurs forces correspondantes et ajoutées en-
ıt égales à zéro; celles mues *vers* les directions
rces étant prises avec le signe *négatif*, et les
: le signe *positif.* »

e la plus haute importance que les praticiens
notion *claire* de l'application de ce principe,
me la plus *générale.* Les idées que s'en font les
nt *ordinairement* erronées.

CHAPITRE XIX.

*ulté de déterminer mécaniquement la valeur
sistance statique. — 234. Théorie des résistances
seul point résistant; — 235. Pour deux points
; — 236. Pour trois points résistans. — 238.
de dernière résistance.*

éorie des résistances en statique. — Un certain
s forces qui maintiennent un corps en repos
e et, pour la plupart des cas, *sont effectivement*
par les résistances de certains points fixes, ou

presqu'impossible de trouver une méthode gé-
applicable pour mesurer les valeurs ou les gran-

deurs de ces résistances. Les dispositions mécani
on se sert ordinairement pour estimer la valeur d
sion, ne sont applicables qu'à l'état immédiateme
au mouvement. Or, quand quelques-unes des
tiennent le corps en repos sont des résistances,
sont en partie, ou bien toutes, infiniment variées
communiquer de mouvement.

Ainsi, pour prendre un exemple familier, nous
varier les poids placés sur une table supportée
pieds, et cela à l'infini, sans produire de mouve
peut même enlever une portion du plancher qui
l'un des pieds, placer ce pied dans le plateau d'un
et quoique le poids sur la table reste le même, o
que l'on peut varier le poids placé dans le plate
de la balance, jusqu'à certaines limites, sans com
de mouvement à l'assemblage. Or, il y avait év
une certaine résistance, et non une autre, suppo
pied de la table, avant que la portion du plancher
elle reposait fût enlevée; mais quelle était *cette*
laquelle de ces pressions indiquait la balance? I
possible de le déterminer.

Une semblable difficulté se présente dans l'usa
sons à ressorts; ces pressions estimées par le plus o
de degrés aux points où elles sont appliquées; a
des pieds de la table étant attaché à un semblab
baisserait jusqu'à ce que la pression qu'il supporte f
balancée par l'élasticité du ressort. Mais cette dis
céder mettrait la pression complètement hors de la
pressions supposées; qui sont suppléées par des p
et des surfaces *fixes*.

234. Ce n'est pas là seulement qu'est la difficu
surer *mécaniquement* les valeurs des résistances sta
théorie des résistances statiques présente d'égales
S'il y a un nombre quelconque de forces en équilib
lesquelles il entre *une* résistance seulement, on e
terminer la valeur; car, connaissant toutes les aut
du système, on peut trouver la grandeur et la di
leur résultante; on sait que cette résultante doit p
le point de résistance, et qu'elle doit, égale en g
la résistance, lui être opposée en direction. La va
direction d'une seule résistance sont donc ainsi co

y a deux résistances dans le système, et que l'on connaît leurs points d'application ainsi que la direction de l'une d'elles; on peut encore trouver la direction de l'autre et les grandeurs de toutes deux; car en prenant la résultante des forces du système qui ne sont pas des résistances, et supposant que cette résultante les remplace, le tout sera maintenu en équilibre par trois forces qui seront cette résultante et les deux résistances; les directions de ces forces sont dans le même plan et se rencontrent en un même point si on les prolonge. Or la direction de l'une des résistances est connue, et l'on peut la prolonger jusqu'à la rencontre de la résultante; alors une ligne menée du point de rencontre au point d'application de l'autre résistance, sera la direction de cette résistance. Les directions des deux résistances étant connues, la grandeur et la direction de leur résultante le seront aussi; et la grandeur de chaque résistance peut se déterminer par le principe du parallélogramme des forces.

Si les points de résistance sont des points *fixes*, capables d'opposer la résistance en toute direction, on verra plus loin que la direction des résistances est nécessairement parallèle à celle de la force résultante. Si les points de résistance sont des points susceptibles de mouvement sur une surface donnée, et que cette surface supplée la résistance seulement en certaines directions; alors les directions des résistances sont celles qui approchent le plus possible du parallélisme.

. Supposons les points de résistance P_1 et P_2, *fixes* (82), et soit R la résultante d'un système quelconque de forces en équilibre, dont les résistances en ces points font partie; il y a alors en P_1 et P_2 des résistances parallèles à R.

Menons de l'un des points P_1 une ligne P_1MN perpendiculaire à la direction de R et coupant la direction de cette force ainsi que celle de P_2, en M et N. Alors, puisque les momens des forces du système autour d'un *point quelconque*, comme P_1, sont égaux, on a

$$P_2 \times P_1N = R \times P_1M.$$

, puisque les directions de P_2 et de R sont connues, les lignes P_1N et P_1M sont connues, ainsi que R; donc P_2 est

$$P_2 \times P_1 P_3 = W \times P_1$$

et de même

$$P_1 \times P_1 P_2 = W \times P_2$$

Ainsi P_1 et P_2 sont connus.

236. S'il y avait *trois* points de résistance
il y aurait un cas et seulement un seul, o
résistances de ces points pourraient être
quelques-unes des règles de statique que nou
Ce cas est celui dans lequel les résistances son
qui sont *fixes* dans les deux surfaces, et d
sont par conséquent parallèles à celles de
autres forces imprimées au système.

Supposons un plan mené perpendiculair
tion de la résultante R (*fig.* 184) et coupant
trois résistances du système aux points P
quels points seront supposés, pour l'instan
ligne droite.

Joignons ces points par des lignes forma
$P_2 P_3$. Menons aussi de ces points des ligne
triangle $P_1 P_2 P_3$ en trois autres triangles
$R P_1 P_3$.

Alors la grandeur de chaque résistance
tante du tout, comme le triangle élémenta
à cette résistance est au triangle total (1)

On peut le prouver aisément. Supposons les forces P remplacées par leur résultante; les forces P_2 et P_3 re[illegible]cées aussi par *leur* résultante. Ces résultantes sont néc[illegible]rement égales et opposées (art. 6). Or la direction de [illegible]mière résultante est en quelque point de la ligne P [illegible]ongée, et la direction de l'autre en quelque point de [illegible] $P_2 P_3$. Les deux résultantes passent donc par le mê[illegible] [illegible]t M d'intersection de ces lignes.

Puisqu'alors la résultante de P_1 et de R passe en M

$$\times MP_1 = R \times MR \text{ et } \frac{P_1}{R} = \frac{MR}{MP_1}$$

$$\text{ou } \frac{P_1}{R} = \frac{\text{Triangle } P_2 R P_3}{\text{Triangle } P_1 P_2 P_3}$$

Une démonstration semblable s'applique aux autres ré[illegible]es.

R est le centre de gravité du triangle $P_1 P_2 P_3$, [illegible] égale au tiers de MP_1 et

$$P_1 = \tfrac{1}{3} R.$$

De même, chacune des autres résistances sera égale au t[illegible] R; ces résistances sont donc égales l'une à l'autre.

Ainsi une table triangulaire uniforme, supportée par [illegible]s à ses coins, pressera sur tous avec une *égale* force, qu[illegible] soit la forme du triangle, puisque la résultante des p[illegible] parties du triangle, qui sont les seules forces qui [illegible]nt imprimées, passe par le centre de gravité du trian[illegible] l'on place un poids sur cette table, *en son centre de* [illegible] la pression de ce poids sera *également divisée* entre [illegible]s.

237. Un poids donné R étant ainsi toujours placé [illegible] centre de gravité du triangle, supposons que le côté [illegible] tourne autour du point P_2, jusqu'à ce qu'il vienn[illegible] [illegible]cider avec $P_2 P_3$. Le centre de gravité R se trouv[illegible] [illegible]gré cette variation, en joignant le point P_1 avec le p[illegible] [illegible]ntre M du côté $P_2 P_3$, et prenant MR égale à [illegible] MP_1; la pression de R sera encore *également* [illegible]

sée entre les points P_1, P_2 et P_3 : cette *division* ‹
tinuera donc quand P_2 P_1 prend sa position *défini*
cidente avec P_2 P_3.

Par conséquent, dans cette dernière position
(*fig.* 185), si MR est égale au tiers de MP_1,
direction de P_2 P_3, la pression de chaque force ap
R se divisera d'elle-même également entre les poi
et P_3.

Il est aisé de voir que lorsque le point R est p
les conditions précédentes,

$$P_2R = \frac{1}{3}(P_1P_2 + P_2P_3).$$

238. Quand le nombre des points de résistance e
le problème n'a plus de solutions par les principes
ment exposés, et il faut avoir recours à un aut
appelé le principe de dernière résistance (1), et
établir comme il suit :

S'il y a un système de forces en équilibre, parm
soit un nombre donné de résistances, alors cha
est un minimum, sujet aux conditions imposées
libre du tout.

Ce principe se prouve aisément, mais son *appli*
de grandes difficultés d'analyse.

Supposons que les forces du système *qui ne s*
résistances, soient représentées par la lettre A, e
tances par B; de plus représentons par C un *au*
quelconque de forces qui puisse remplacer les forc
porter A.

Supposons le système B remplacé par C; alors i
que chaque force du système C est égale à la pr
pagée à son point d'application, par les forces
A; ou qu'elle est égale à cette pression, *à la fo*
pression ainsi propagée par les autres forces du
Dans le premier cas, elle est *identique* avec une des
du système B; dans le second cas elle est plus
Dès-lors chaque force de système B est un *mini*
jet aux conditions imposées par l'équilibre du t

pe de dernière résistance fut découvert
première fois dans le *phil. mag.* Octob

ces d'un système quelconque de forces étant su-
e condition, la grandeur et la direction de cha-
nt être déterminées en fonction des autres forces
osent, par la méthode du maximum et minimum
e quelconque de variables.
ésulte de cette détermination que lorsque les ré-
nt parallèles, il y a un *certain axe*, autour du-
nomens sont *tous égaux*.
es sont toutes en lignes droites, cet axe se ré-
point.
ion qu'un nombre quelconque de résistances pa-
nême ligne droite, aient leurs momens égaux au-
ertain point, conduit à la fois à la détermination
n de ce point et à la comparaison des valeurs des
istances du système.
istances sont égales, le point autour duquel leurs
nt égaux, se trouvera à une distance infinie (1).
s'ensuit évidemment que puisque ces résistances
indres possibles pour supporter la résultante des
s imprimées au système, elles sont aussi près que
être en directions parallèles à la direction de la
Par conséquent, si chaque point résistant est ca-
uppléer la résistance en une direction quelcon-
sont exactement parallèles à cette direction. Si
lui sont inclinées sous le moindre angle pos-

ns le coin (art. 87), puisque la force imprimée
est supportée par les résistances sur les côtés,
s ont leurs directions inclinées sous le moindre
ble par rapport à la première, et sont par consé-
les directions limites des résistances des surfaces;
nous l'avions établi d'après d'autres principes.

ı lieu quand une force donnée est supportée par
égales en même ligne droite, dans les circonstances
récédent.

…sible et égale sur toute égale et semblable surface et si… située dans toute autre partie du fluide; se distribuent… également et semblablement dans toute la masse fluide.

Si donc il y a deux parties des côtés du vaisseau p… dant qui soient précisément de même forme et de m… dimensions, … qu'une pression quelconque soit appliq… l'une d'elles … la même pression précisément se produi… l'autre; ou … en, si un piston solide, dont l'extrémi… d'une forme déterminée, est enfoncé à une profondeur q… conque dans le fluide, de manière à produire une pr… déterminée sur une surface qui s'y trouve dedans, de la m… forme et des mêmes d… que l'extrémité du p… alors une semblable et … ssion sera produite sur… égale et semblable sur… e partout de même dan… côtés du vaisseau…

Il est clair que … -dessus s'ensuivra, p… que nous puisson… la pression appliquée… surface plane, qu… lle soit située dans la… est propagée à u… semblable, situé quelq… part; car chaque surf… être considérée comm… née de plans infinimen… et la force appliquée… surface comme distribuée sur ces plans. Or si la force appliquée à chaque plan dans une surface, est exact… propagée à chaque plan égal et correspondant dans l'au… il s'ensuit que toute la pression sur l'une des *surfa…* exactement propagée sur l'autre.

Supposons alors, dans la *fig.* 186, les pistons P e… terminés par des surfaces planes, et que des forces P,… soient appliquées à ces pistons, de manière qu'ils soien… équilibre l'un avec l'autre. Ceci étant, soit une faible p… sion additionnelle communiquée pour un instant à l'un d… P, juste assez pour troubler l'équilibre; cette pressio… additionnelle sera transmise à l'autre piston; et puisque… deux étaient exactement en équilibre, tous deux se… vront maintenant.

… dans le premier, p… … pourront être supposés former une p… … d'un second vaisseau, d'une forme différente du premi…

a lieu pour les solides; ou dans des directions limitées certains angles, comme cela a lieu pour les corps com- de particules détachées, tels que le sable par exem- mais dans toutes les directions possibles.

On y peut ajouter toutes les autres propriétés dont nous qu'un corps fluide jouit, et qui le rendent distinct corps solide.

Soit AB (*fig.* 186) un vaisseau dont les côtés soient par- ment rigides, et qui renferme *exactement* un corps fluide, toute forme possible. Supposons deux masses prismati- appelées pistons, pP qQ, qui s'y plongent à une pro- deur quelconque par des ouvertures dans les côtés et aux- elles s'adapteront parfaitement, en s'y mouvant avec complète liberté; appliquons-y des forces capables de les tenir *juste* en leurs places. Un équilibre étant ainsi éta- appliquons une autre force P à l'un des pistons; on que de *quelque manière que l'autre piston soit placé*, force additionnelle devient immédiatement nécessaire maintenir ce piston en repos. La pression du premier est donc instantanément propagée au second; et cela lieu, de quelque manière que l'autre piston soit placé, il que la pression appliquée à l'une des parties du fluide propagée en toutes directions, et à toute autre partie du fluide.

Si le vaisseau contenait, au lieu d'un fluide, une masse sable ou de terre, le piston Q ne serait affecté par une appliquée à P, qu'autant qu'il serait situé dans un es- renfermé par des lignes tirées sous un certain angle, partir de P, et représentées dans la figure par les lignes ponctuées. Les corps de ce genre, dont il existe une grande variété, se nomment quelquefois fluides imparfaits.

143. De cette propriété, que la pression appliquée à un fluide est propagée en *toutes directions*, on en peut déduire une autre : « *Qu'elle est propagée* ÉGALEMENT *en toute direction*.

On cite ordinairement cette propriété comme *le principe de la distribution égale de la pression fluide*.

Ce qu'on doit entendre par ceci, c'est qu'une pression [illegible] quée à une surface quelconque, ou aire, sit[illegible] tie d'un fluide, *engendre* une pression préci[illegible]

sion est prouvé, quelle que soit la forme des
quelles elle s'applique.

244. Il paraît, d'après l'équation précédent
pression appliquée à une surface plane, dans u
fluide, est à la pression qu'elle produit sur
toute autre partie de ce fluide, comme l'aire du
est à celle du second. Ainsi, si la première aire
comparativement à la seconde, la force appliq
petite comparativement à la force produite; e
sement de la *force* produite, comparativement
productrice, peut être porté à un degré infini
sant la disproportion des deux aires.

245. C'est sur ce principe qu'est construite
drostatique de *Bramah* (*fig.* 187). AB et C
cylindres creux dont les parois sont d'une gr
et d'une grande force. Le diamètre de CD est
petit que celui de AB, et ils communiquent
BD. AM est un fort piston marchant dans le
AB bien ajusté et calibré, qui se termine pa
teau GFH, sur lequel se met la substance
presser. KCQ est un autre piston ajusté de mên
cylindre CD, et qui s'y meut au moyen d'un
dont le point d'appui est en K. Immédiateme
du point D est une soupape *fermant par bas*, et
quelle le cylindre CD communique, par un t
réservoir E contenant de l'eau. Le tuyau BI
soupape *ouvrant dans le cylindre* AB. Le levi
élevé, la soupape en D s'ouvre, et l'eau monte
une pompe ordinaire, du réservoir E dans le

Le levier étant alors *baissé*, la soupape D s
en B s'ouvre, et l'eau est forcée dans le tuyau I
du piston en M. Quand tout le fluide a été
l'opération recommence, et le piston AM est f
continuellement. La substance à presser est
plateau GFH et une traverse I qui est fixée
et H.

D'après ce qui a été dit précédemment; éq
243; on voit que la pression sur la base du
à celle sur Q comme l'aire du premier est à l'a
pistons étant des cylindres pleins, les
s transversales sont l'une à l'autre con

ımètres. Dès-lors, en appelant ces diamètres D_1 les pressions P_1 et P_2, on a

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{\overline{D_2}^2}{\overline{D_1}^2}$$

ıs par exemple que le cylindre Q ait un quart de il. 3499) de diamètre, et M douze *inches* (304

$$= \frac{(12)^2}{(1/4)^2} = \frac{144}{1/16} = 144 \times 16 = 2304.$$

d'où $P_2 = 2304\ P_1$.

ınt supposons que la force P_1 soit produite sur) par l'action d'une force P appliquée à l'extré-vier H K L, et que la longueur du levier soit de 122 centimètres); et que la distance du point K nt d'appui H soit de 4 *inches* (101 mil. 598); 95) on a $4\ P_1 = 48\ P$; d'où $P_1 = 12\ P$ et P^2 12 P = 27648 P. Si la force P appliquée à l'ex-levier est de 100, la pression P_2 ainsi produite ɜ du piston M sera 2764800.

s d'un homme appliqué à l'extrémité du levier ıc, avec cette machine, une pression au-delà de (2030560 kil.). C'est la machine la plus simple lication la plus facile pour accroître la puissance La seule limite à sa force est le manque de maté-bles de résister à l'énorme pression qu'elle pro-ɜ eût été connue *d'Archimèdes*, il l'eût certes pré-levier pour soulever le monde.

ıne belle disposition de feu M. *Bramah* pour fait le rodage de deux pistons, sous la pression laquelle le fluide est assujetti. Une partie du ;arnit le métal s'étend au-delà du bord dans le ɜ surface de ce cuir étant ainsi présentée à l'ac-ide, et l'autre à la surface du piston, la pression le force à serrer le piston mieux que cela ne ement; et par cette simple disposition, à mesure dance du fluide à s'échapper s'accroît, à raison ɜsement de pression sur lui, le collier est conti-raffermi et ne peut s'échapper. Le principe de

[illegible] le fluide ainsi comprimé, il y a plus précieux, c'est celui de le conserv presque indéfiniment. Il semble qu'il n'y a comme qui ne cède à la puissance de [illegible] qu'un de ses moindres efforts pour par [illegible], ou pour briser une p

On l'a quelquefois employée pour arra pour essayer les câbles de fer. Dans ce par compression, mais par traction, et il positions particulières pour appliquer la [illegible]. On y fixe l'assemblage de la mach par laquelle la force de traction doit être dans le collier d'étanche à la base du cyl tache à l'extrémité du piston M qui, ment, entraîne cette verge avec lui.

L'action de la presse cesse de suite en robinet X qui permet à l'eau de s'écouler plus grand espace.

316. Nous avons vu que la pression ex l'intermédiaire d'un fluide d'une surface p les premières sont l'une à l'autre comme l Supposons maintenant que la seconde su au lieu d'être plane. Concevons-la divisée nombre de parties égales. Chacune d'elles sidérée comme plane. Soit n leur nombre

ou comme toute la pression sur la surface
›ute l'aire de cette surface.
d'un fluide sur la surface d'un solide est
dans une direction perpendiculaire à cette
cela n'était pas, elle pourrait se décomposer
forces, dont l'une serait *perpendiculaire*
l'autre lui serait parallèle; et cette dernière
les parties adjacentes du fluide et causerait
chez elles. Il s'ensuit donc que la pression
repos sur la surface d'un solide, est en di-
iculaire à cette surface.
tion et décomposition de la pression fluide.
› d'une ligne sur une autre ligne est cette
conde ligne interceptée entre les perpendi-
sont menées par les extrémités de la pre-
'Q' (*fig.* 188) est la *projection* de PQ
ue c'est la partie de AB interceptée entre
ires PP' et QQ' menées par les extrémi-
ligne PQ sur cette ligne. De même P'' Q''
n de PQ sur A' B'.
d'un *plan* sur un autre *plan* se fait de
rojections d'un nombre infini de lignes pa-
premier sur le second, et elle est limitée
›ignant les extrémités d'un nombre infini de
, menées de tous les points de la circon-
ier plan sur le second. Ainsi P' Q' (*fig.* 189)
› du plan PQ sur AB.
'il y a trois forces en équilibre (*fig.* 188)
directions perpendiculaires aux trois lignes
formant le triangle PQ*p*, on a vu précé-
de l'art. 145) qu'elles sont représentées en
es trois lignes; en sorte que si l'on divise
s en autant de parties qu'il y a d'unités
ui lui est perpendiculaire, il y aura autant
s à celles-ci dans chacune des autres lignes,
› les forces qui *leur* sont respectivement per-
insi PQ étant pris pour représenter la force
pendiculaire, en grandeur, *p*P et *p*Q re-
forces qui leur sont respectivement perpen-
si AB est perpendiculaire à A' B', *p*P et
tivement égaux à P'Q' et P'' Q''. Il s'en-

:izontal et un plan vertical, représenteront les pressions
r sont perpendiculaires, et qui sont les *composantes*
ression. Les nombres d'unités carrées dans ces plans
fs représenteront les unités de pression (égales à la
:e) qui sont contenues dans les pressions compo-

i P' et P'' étant les *projections* de P sur deux plans,
! et *horizontal*, autant il y aura d'unités carrées dans
d'eux, autant il y aura d'unités de pression dans les
antes, horizontale et verticale, de pression sur P ; l'u-
pression étant prise égale à la pression sur une unité

osons maintenant que P fasse partie de la surface
nasse supportant la pression d'un fluide, imprimée
comme il a été expliqué au commencement du cha-
e manière que la pression sur chaque unité carrée
ı la surface de la masse soit la même.

P_1 cette partie opposée de la surface de la masse,
i même projection verticale que P, c'est-à-dire P' ;
P_2 celle qui a la même projection horizontale. Alors
ion sur P_1 aura pour sa *composante horizontale* une
ı contenant autant d'unités qu'il y a d'unités carrées
' ; chaque unité de pression étant la même qu'avant
-dire la pression sur une unité carrée, qui est la même
te la surface). Mais la composante *horizontale* de
ı sur P contient, comme nous l'avons vu, le même
des mêmes unités. Dès-lors les composantes hori-
ı de pression sur P et sur P_1 sont les mêmes en gran-
en directions opposées. Le corps n'a donc aucune
:e à se mouvoir *horizontalement*, à raison de ces pres-

nême on peut voir que les pressions *verticales* sur
ı sont les mêmes en grandeur et en directions oppo-
ı corps n'a donc non plus aucune tendance à se mou-
rticalement à raison de ces pressions.

i l'on voit que les pressions horizontales et verti-
ur le plan P sont *neutralisées* par des pressions
sur les parties opposées de la surface de la masse.
ı il en est de même pour tous les autres plans élé-
res dont la surface est composée, il s'ensuit — toutes
ssions horizontales et verticales sur les différens points

unes les autres. Ceci étant, il s'ensuit que la pre
le plan P est exactement propagée, sans accroiss
diminution, à toute autre surface P' de la même
le même plan horizontal. De même la pression
propagée en P. Nous en conclurons dès-lors qu
pression sur P' est précisément égale à celle sur

Car si elle n'était pas égale, elle serait plus
plus petite.

Supposons la pression sur P' *plus grande* que c
Alors puisque la pression sur P' est transmise e
sant vers le haut sur ce plan, et excède sa prop
sur P vers le bas, il doit y avoir mouvement
n'est pas puisque le fluide reste en repos.

Supposons la pression sur P' *moindre* que c
alors la pression sur P est *plus grande* que cell
par la même raison que dans le cas précédent,
devrait se mouvoir; ce qui *n'est pas*, puisque le
en repos.

La pression sur P' n'est donc ni plus grande
tite que celle sur P; c'est-à-dire qu'elle lui

254. On voit, par ce qui précède, que *les p*
deux aires égales, prises quelconques dans un fl
sont égales l'une à l'autre, pourvu qu'elles soient d
plan horizontal (1).

C'est une proposition fondamentale d'hydrost
sert à expliquer les plus importans phénomènes

(1) Il y a une autre démonstration qui, quoique moins
peut être regardée comme plus intelligible.

Soient P et P' (*fig.* 192) des aires égales et semblables
plan horizontal, situé d'une manière quelconque dans l
P Q Q' un tube imaginaire, de forme *symétrique*, et te
plans P et P' qui forment ses extrêmes sections. Suppos
la masse du fluide, à l'exception de ce qu'en contient le t
solide. Les conditions de l'équilibre du fluide contenu da
seront pas altérées par ce changement, puisqu'on n'ôte
n'ajoute rien aux forces agissant sur ce fluide, mais qu'on l
seulement un pouvoir de *dernière pression résistante*.
tube est *symétrique*, on voit que son fluide ne peut
pos sans que les pressions sur ses deux extrémités P
égales. Or P et P' ont été pris *n'importe où* dans un
tal quelconque. Donc la proposition est démontrée vra
aires égales d'un même plan horizontal.

ois avec telles autres conditions qui résultent

. 191) une partie de la surface d'un fluide
-en une portion QP constituant une colonne
fluide ayant pour sa base un plan horizontal
ns les conditions d'équilibre de cette partie du
remière condition de l'équilibre d'un système
le, il s'ensuit que les mêmes conditions doi-
par rapport aux forces agissant sur cette co-
, que si elle était un solide.
les forces qui lui sont imprimées *en directions*
ées, doivent donc être égales l'une à l'autre;
a somme de celles imprimées horizontale-

upposons que la surface A B du fluide soit libre
on, la seule pression *verticale* sur la colonne
bas est son poids; la pression de bas en haut
ide sur sa base P. Ces pressions sont donc
autre; c'est-à-dire que la pression sur la base
du fluide QP est égale à son poids; et cela
ute autre colonne du fluide que l'on prendrait
voit donc que la pression sur un plan hori-
mporte où dans le fluide, est égale au poids
s'élevant de ce plan jusqu'à la surface du

iant, d'après le principe de distribution égale
luide, la pression sur un tel plan, si le fluide
, serait *exactement* propagée, sans accrois-
nution, à toute autre surface d'aire égale dans

est d'ailleurs *pas* sans poids, et chaque par-
oumise à la force de gravité, laquelle force de
ontinuellement la valeur de la pression, dans
d'une partie du fluide à l'autre, pourvu que
cette propagation soit en quelques degrés vers
le bas, c'est-à-dire verticale; mais elle ne
si sa direction est horizontale, c'est-à-dire
e à la direction de la gravité, puisque c'est
statique, que les forces agissant perpendicu-
e sur l'autre, ne se *contrarient* ni *n'augmen-*
nent, ou bien ne s'affectent aucunement les

en quelque point près du sommet, ou bie
bien au-dessus du niveau de l'eau dans la
caverne se remplisse d'eau avec le temps, e
eau se précipite accidentellement dans la
ait rempli, ou, ce qui est possible, que le
[illegible] qui alimentent l'eau de la caver
[illegible], la pression vers le haut, produite a
la caverne, peut excéder tout le poids de la
[illegible] pour détruire son adhésion à sa base.
se renversera.

257. *La surface libre d'un fluide est pa*
[illegible]. Les pressions sur les aires égales d
horizontal d'un fluide étant *égales* (art.
sur chacune de ces aires étant égale au p
[illegible], ayant une base égale à cette aire, e
surface du fluide, il s'ensuit que toutes ce
[illegible] du même poids et de la même hauteur.

On voit donc ainsi que toutes les verti
même plan horizontal, aux points de ch
libre surface du fluide, c'est-à dire à tout
[illegible] une [illegible] dans sa position par la
[illegible] du vaisseau, sont *égales* l'une à l'a
que tous ces points sont à la même dista
plan horizontal dont il s'agit. Ils sont donc
le même plan horizontal, ou, suivant l'exp

le supposé supérieur est un plan horizontal; et si l'on
in plan horizontal dans le fluide supposé inférieur,
sion sur chaque aire égale de *ce* plan est la même, ou
a poids d'une colonne verticale s'étendant jusqu'à la
du fluide; d'où les poids de telles colonnes sont les
. Or elles sont d'égales longueurs, puisqu'elles s'éten-
jusqu'à la libre surface du fluide supposé supérieur,
us savons être un plan horizontal. Donc, puisqu'elles
poids et de longueur égales, chacune doit contenir la
quantité de chaque fluide; et les hauteurs des colonnes
ses les plus basses, c'est-à-dire les distances des différens
de la *surface commune* des deux fluides au plan ho-
l donné, doivent être les mêmes; par conséquent,
urface commune est elle-même un plan horizontal.
a *surface commune* des liquides à la surface de la terre,
atmosphère qui l'entoure, est un plan horizontal.
'est pas de variété concevable dans la *forme* du
n contenant, auquel le raisonnement sur lequel ces con-
s sont fondées ne soit applicable.
out peut former un *système* de *tuyaux*, liant divers
irs l'un à l'autre; et il suit de ce qui précède, que
les fois que l'eau atteint un état d'équilibre dans ces
irs, sa surface dans tous sera dans le même plan ho-
l, ou bien au même niveau. Le fluide sera en mouve-
usqu'à ce que cela ait lieu. Tant qu'il se meut ainsi,
qu'il cherche son niveau.

Cette propriété d'un fluide de rechercher son niveau,
e à raison de laquelle l'eau se répand avec une éton-
facilité dans les rues de nos cités populeuses, surmon-
s divers obstacles que les variations du terrain pré-
à son mouvement; s'élevant dans les étages supérieurs
isons, et remplissant, à des intervalles fixes, un ré-
qui fournit à tous les besoins de santé et de salu-
e ses habitans. Pour cet effet, tout ce qui est néces-
c'est que tout le système des tuyaux et conduits com-
uent avec un réservoir dont la surface soit au-dessus
us haut niveau auquel on veut avoir l'eau. Si l'eau
e pas naturellement dans un pareil réservoir, il faut
ver à l'aide d'une pompe ou d'autres mécanismes hy-
ques, parmi lesquels se place en première ligne la ma-
à *vapeur*.

Il est remarquable que cette importante pro
des, de laquelle dépend autant la santé et le b
population nombreuse, ait été si long-temps
le monde. Il semble n'avoir été connu que d
siècles. Que les Romains n'en aient jamais so
tence, et qu'ils n'aient jamais songé à l'ap
grandes entreprises qui, de nos jours, contr
bien-être de la société, cela semble évident
nombre des aqueducs qu'ils ont érigés, avec
des dépenses considérables, dans le voisinage
grandes cités, et dont les ruines sont les mon
frappans de leur puissance, de leurs richess
ignorance. Les aqueducs qui fournissaient de
seulement, ont plusieurs centaines de milles d
l'aqueduc bâti par les Romains dans le voisin
et qu'on appelle le pont du Gard, est un d
échantillons de leur massive maçonnerie. Tou
étaient des canaux artificiels, au même nive
quant du haut d'une éminence à une autre, et
des piliers dans la vallée qui les sépare. Ils s
tainement épargné ces constructions gigan
avaient su qu'une conduite close, de directio
irrégulière, à niveau très-varié, peut aussi
amener l'eau d'un point à un autre, à la même
si tout le cours du canal était en ligne droite

260. La propriété qu'ont les fluides de r
propre niveau, a été mise en évidence d'une
pante à l'aide de l'instrument représenté *fig.*
de vaisseaux de formes différentes sont ajusté
communiquer avec un réservoir fermé. Malgr
leurs formes et de leur disposition, ces vaisse
vent l'eau d'un réservoir commun, arrivent
veau, et le mouvement de l'eau continue dan
ce que ce niveau soit atteint. On peut varier
plaçant des robinets aux cols des différens v
qu'on le voit dans la figure. Le réservoir é
ces robinets fermés, le fluide peut être maint
différens niveaux; mais dès qu'on les ouvre
immédiatement en mouvement; et après qu
d'oscillation pour atteindre l'équilibre, *toutes*
nissent ... se niveler, ou par être dans
hori...

.es écluses des canaux présentent un autre exemple incipe.

'un fluide ne reste en repos que lorsque sa surface atteint son niveau, il est évident que les eaux d'un resteront tranquilles qu'autant qu'elles auront ac- ıême niveau ; ou bien, en d'autres termes, qu'autant ınal sera tel qu'un plan horizontal passant par un la surface du fluide s'arrête en quelqu'endroit du prolongé dans la direction de son cours, coupera ›s *rives* ou les *bords* du canal, en des points qui ne en dessus ni en dessous du premier. Car la surface étant à un point dans ce plan horizontal, n'y res- utaut qu'elle sera toute dans ce même plan. Si donc ıtait quelque part au-dessus des bords du canal, la u fluide passerait par-dessus les bords, ou bien *léborderait;* si le plan passait quelque part *en des-* ond du canal, alors la *surface* du fluide *y* serait in- ıe par ce fond, et en cet endroit le canal se trouve-

ıt quelquefois impossible de construire un canal de à ce qu'il soit assujetti à cette condition de niveau, à l'inégalite de la surface du pays qu'il traverse. On fait ıx parties distinctes du canal avec des niveaux dif- .'une, par exemple, est au niveau du sommet d'une e, tandis que l'autre reste au niveau de la surface ıllée inférieure. Les deux branches du canal étant tièrement distinctes et séparées l'une de l'autre, :ulté se présente pour le passage des barques de 'autre. On la surmonte quelquefois par un chemin ıversant la montagne, et sur lequel des wagons trans- les barques, après qu'une machine à vapeur les a le l'eau à l'aide d'un plan incliné, pour les remettre le même moyen dans le bassin du niveau supérieur. 'ois c'est un bateau locomoteur qui remorque les

de tous les modes de communication, le meilleur s convenable pour les barques chargées, c'est l'é-

ıB (*fig.* 175) la surface de la montagne entre les nches d'un canal. S'il y a peu de différence dans ıux, une excavation se fait du sommet A perpen-

diculairement suivant AP jusqu'au niveau PB du fond la montagne, et en même temps on élève une chau de chaque côté de l'excavation dont le sommet QA est niveau de A.

Ceci étant fait de chaque côté de l'excavation, il formé un grand réservoir dont le fond est au même niv que le fond de la branche inférieure du canal, et don sommet est au même niveau que celui de la branche périeure. Les extrémités de ce réservoir sont fermées des portes d'écluses KC et ID qui s'ouvrent et se ferm à volonté (*fig.* 196). Une barque est amenée du *plus h niveau* AB *au plus bas* ar ce moyen; les portes ferment, et l'on ouvre e ne temps l'échappée, co munication entre la branct périeure du canal et le servoir; cette échappée pe re un canal souterrain, bien une vanne dans la porte au arrive dans le bassin l'écluse jusqu'à ce qu'elle y au niveau du canal sup rieur; la porte ID s'ouvre s facilement, puisque l se trouvant au même ni des deux côtés, en pre également les parois, et n'y a plus de raison p que la pression de l'eau s'oppose au mouvement porte, ou l'accélère plutôt d'un côté que de l'autre. La porte étant ouverte, le bateau arrive dans le réservoir, l'on referme la porte par laquelle il est entré. L'écluse de vient alors un vase clos de fluide supportant le bateau à surface. On ouvre alors l'échappée de communication réservoir avec la branche inférieure, et le niveau s'abaiss graduellement dans le bassin du réservoir jusqu'à celui canal inférieur; on ouvre alors la porte KC, et le bate peut continuer sa route sur cette branche du canal.

Le procédé pour *faire monter* la barque au *niveau s périeur* est exactement l'inverse. Le réservoir étant vid comme on dit, et la porte supérieure fermée par cons quent, le niveau de l'eau s'y trouve le même que dans canal inférieur; alors la porte KC étant ouverte, le bate arrive dans le réservoir. On referme la porte par laquel il est entré, puis on laisse arriver l'eau du canal supérie par l'échappée de communication, jusqu'à ce que le bass arrive au même niveau que le canal supérieur; après quoi porte AB s'o re pour laisser passer le bateau.

Si la différence des niveaux est considérable, il devie

cable d'excaver une *simple écluse* de profondeur
.e pour transporter le bateau d'une branche à l'autre
l. Dans ce cas on construit une série d'écluses, et
au s'élève graduellement de l'une à l'autre par le
noyen jusqu'à la hauteur voulue. C'est ainsi qu'une
peut monter sur le flanc de la montagne d'un côté,
endre de l'autre, s'il y a assez d'eau sur le sommet
ontagne, pour fournir à la consommation des écluses.
. évident que chaque fois que le réservoir se vide,
antité d'eau, égale à sa contenance, passe du canal
ur dans le canal inférieur, et qu'ainsi chaque passage
au consomme cette quantité d'eau; en sorte que deux
s successifs ne peuvent avoir lieu sans que le canal
ur fournisse assez d'eau pour cette consommation.
n grand obstacle à l'usage des écluses, à raison des
és que les localités présentent souvent et d'une ma-
nsurmontable.

Le niveau d'eau présente une application très-utile
ropriété qu'ont les fluides de chercher leur niveau.
t nécessaire pour certaines opérations de déblais et
s, de déterminer le point exact, d'une chaussée ou
ur par exemple, qui doit se trouver dans le même
rizontal avec un autre point à quelque distance. Ce
nent s'opère ainsi qu'il suit :

tube recourbé A B (*fig.* 197) porte à ses extrémités
erres A et B, dans lesquels l'eau du tube s'éta-
même niveau P Q; en sorte que l'œil regardant à
les verres se dirige suivant ce niveau en droite ligne
tale. L'instrument est posé sur un pied, et l'obser-
qui regarde par A ou par B peut s'assurer que Q
la même horizontale que P, ou réciproquement.
n instrument très-commode, très-exact, et d'une
aussi facile que sa pratique.

CHAPITRE III.

263. ***Pression oblique d'un fluide pesant.*** (*fig.* 198) une surface plane *obliquement* pla fluide; soit PQ' un autre plan pris dans le mêmes dimensions précisément que PQ, mais *ment* placé. La pression sur PQ' sera dès-lor que nous avons dit (art. 252), égale au poi lonne de fluide ayant ce plan pour sa base la surface M.

Maintenant toute la pression, en vertu du l'égale distribution de pression fluide, sera tra surface PQ, en y ajoutant le poids du fluide se trouve entre les deux plans. Si donc PQ e petit, cette dernière partie du fluide sera très s'ensuivra que l'on pourra négliger son poids. sur le plan PQ étant considérée dès-lors con ment égale au poids d'une colonne de fluide a pour sa base et une hauteur égale à la profon est ce plan.

Or la pression d'un fluide sur une surface direction *perpendiculaire* à cette surface (art.

donc une colonne PM' perpendiculaire à PQ, ayant
... pour sa base et d'une hauteur PM' égale à PM,
...ssion sur PQ agira dans la direction de cette colonne,
...ra égale à son poids. La surface PQ étant supposée
...sivement petite, la colonne PM peut être représentée
la ligne PM.

...4. Supposons que P, P_1, P_2 (*fig.* 199) soient des points
la surface intérieure d'un vase contenant un fluide.
...ns PM', $P_1M'_1$, $P_2M'_2$ perpendiculaires à la sur-
...en ces points et qui soient égales à leurs diverses pro-
...urs PM, P_1M_1, P_2M_2; ces perpendiculaires repré-
...tent les pressions sur d'excessivement petites parties
... surface vers ces points (art. 263). Il est évident que
...gnes croissent à mesure que les points sont plus pro-
...ment enfoncés; si donc le vase doit être construit de
...re qu'il n'ait aucune tendance à céder à la pression
...uide en un point plutôt qu'en un autre de sa surface,
...épaisseur devra être plus grande vers le fond que vers
...ut. Si l'on suppose que la force du vase est proportion-
... à son épaisseur, il est clair qu'il faudra prendre les
...eurs PQ, P_1Q_1, P_2Q_2, aux points P, P_1, P_2, pro-
...ionnelles aux lignes PM', $P_1M'_1$, $P_2M'_2$, c'est-à-dire
... lignes PM, P_1M_1, P_2M_2. Si l'on veut avoir *juste*
...tant l'épaisseur capable de supporter la pression du fluide,
...pas davantage, on pourra s'assurer par expérience que
...aisseur du métal supporte exactement la pression en un
...t quelconque, en P par exemple, puis on conformera
...isseur des autres points à leur profondeur.

...65. Si la paroi d'un vase, ou quelque partie de cette pa-
... est un *plan* au lieu d'être une surface courbe, la loi de
...ation de pression se détermine aisément.

...upposons que APD (*fig.* 200) soit un vase dont la sur-
... intérieure ait une partie plane PC, soit AB la surface du
...e, et imaginons-la prolongée de manière à remonter le
... PC également prolongé, en N. Par un point quelconque
...le PC, menons la verticale PM à la surface du fluide,
... M' perpendiculaire à PC et égale à PM, alors si de N
...mène la droite NL passant par M', une perpendiculaire
...M'_1, menée par un point quelconque P_1 de PC à cette
...), représentera la pression sur ce point; elle est égale

à la hauteur de la colonne P, M, dont le poids
pression.

Si l'on fixe PQ pour épaisseur du vase en P
mène par N une droite NK passant par Q; alo
face extérieure du vaisseau coïncide avec cette lig
sance pour y supporter la pression sera la mêm
e point de PC, comme en P; c'est-à-dire
également fort partout; en effet il existe de
même rapport que de PQ à PM'.

C'est sur ce principe que les chaussées
sont des massifs de pierre, de terre
destinés à supporter la pression
s per culairement et d'une
artou, mais ont r face *extérieure* u
e. La *fig.* 201 rep sente une de ces ch
diculaire PM étant menée d'un point q
de la surface intérieure AB et prise égale à s
ment PA en ce point; une ligne AL étant alo
les points A et M (1); et d'autres perpendic
menées de tous les autres points entre A et B
profondeurs respectives de ces points, comme la
laire de P l'est à la profondeur PA; si l'on mè
quelconque AN par A, les distances entre cette
différens points de AB seront toutes proporti
profondeurs de ces points; une chaussée ainsi
quelque ligne telle que AN, sera partout d'une
tance au fluide ABL. On leur donne même en
épaisseur plus que suffisante pour une résistanc
de pourvoir à toute variation de résistance qui
venir dans les matériaux employés.

267. On voit par ce qui précède que les surf
espèce supportant les pressions des fluides pes
être plus fortes dans le bas que vers le haut,
parties inférieures n'étant pas nécessaire à celles
Ainsi les portes d'écluse, les vannes, doive
assemblage plus épais et renforcées de ferremen
au fond de l'eau que près du niveau.

268. *Centre de pression.* — Revenons au cas

(1) Cette ligne sera évidemment inclinée de 45° à
fluide.

surface plane formant partie des côtés d'un vase
0). On demande à combien se monte la pression sup-
ıar *tout* le plan; et *où* l'on devrait appliquer une seule
ur supporter cette pression et maintenir le plan en
ors même qu'il serait entièrement détaché du reste
.

ɔint qui possède cette propriété se nomme le centre
ion; on peut le définir d'une manière générale :
dans une surface supportant la pression d'un fluide
iffirait d'appliquer une seule force pour supporter
pression et maintenir la surface en repos. Sa posi-
ıand la surface est un plan, se détermine aisément.
ı que les pressions sur les différens points du plan
ront représentées par les perpendiculaires à ce plan
nées à la ligne NL, qui sont équivalentes aux poids
ınnes de fluide de même longueur que ces lignes.
a pression est donc égale au poids de toute la figure
' que l'on peut supposer composée de ces lignes, et
sur PC est précisément le même que celui que pro-
le poids d'une telle figure si elle était mise dessus
e position horizontale. Or la résultante des poids des
de cette figure passera par son centre de gravité;
ante des pressions du fluide sur PC passe donc par
ıre de gravité. Nous n'avons dès-lors qu'à trouver
ɔ de gravité du trapèze PCEM', et à mener par ce
ıe perpendiculaire à PC; le point où cette perpen-
ɔ la rencontre, sera le centre de pression.

Si le plan PC s'étend jusqu'à la surface du fluide
a détermination de la position du centre de pression
ile; car alors le point P coïncidant avec N, le tra-
ˌEM' deviendra le triangle NCD (*fig.* 202). Nous
rouver le centre de gravité de ce triangle par la mé-
xpliquée dans l'art. 68 (*fig.* 52), où la position du
, comme nous le verrons dans l'appendice, est, aux
ırs de la ligne AM, menée du sommet A au milieu
ıse BC. Si donc nous menons MN (*fig.* 202) sur
ı de CD, et que nous prenions NG égale aux deux
MN, ce sera le centre de gravité du triangle; et
GH perpendiculaire sur NC, H sera le centre de
ˌ de ce plan. Or, puisque NG est égale au deux tiers
il est évident que NH doit être égale aux deux tiers

de NC. Il s'ensuit dès-lors que le centre de pression d'un plan, atteignant à la vraie surface du fluide dont il soutient la pression, est à une distance de son extrémité supérieure, égale aux deux tiers de toute sa longueur. Enfin le plan est supposé composé, dans toute sa largeur, de lignes de même longueur que NC et qui lui sont parallèles; en d'autres termes, on le suppose un rectangle; et ceci étant, quelle que soit son inclinaison, le centre de pression sera distant du bord du plus haut des deux tiers de toute sa longueur, et une seule force, telle, par exemple, que la pression d'une verge, appliquée à cette distance et dans le milieu de sa largeur, maintiendra le plan en repos. Il en serait évidemment de même si la verge, au lieu d'être appliquée longitudinalement en un seul point, était placée en croix sur ce point; tout ce qu'il faut pour l'équilibre étant qu'il y ait une force suffisante appliquée au centre de pression.

270. Nous venons de voir que le centre de pression d'un plan rectangulaire est aux deux tiers de la longueur du plan, à partir de la surface du fluide, quelle que soit son inclinaison; par conséquent il en est ainsi pour le plan devenu *vertical*.

Ainsi une écluse ou vanne peut être maintenue en place par la pression d'une simple force contre elle (*fig.* 205), l'extrémité d'une simple verge, par exemple, appliquée aux deux tiers de la profondeur du fluide et dans le milieu de la largeur de la vanne. Si la porte de l'écluse tournait sur un axe horizontal passant par ce point, elle se tiendrait naturellement fermée, malgré la liberté de son mouvement autour de son axe. Si le réservoir contenait trop d'eau, après l'avoir laissée échapper, la porte se refermerait d'elle-même, par la simple pression de l'eau revenue au niveau convenable par rapport à l'axe.

Les traverses et les montans d'une porte d'écluse doivent évidemment se placer, dès-lors, non pas à égales distances du bas et du haut de la porte, mais bien à égales distances dessus et en dessous du centre de pression, qui est aux ... tiers de sa profondeur. Cette disposition est d'une grande ...nce dans la pratique; et cependant on semble n'y ...ne attention.

...incipe, les douelles d'une cuve ou d'un ...ues par un simple cercle, si ce cercle

é aux deux tiers de la profondeur du fluide contenu. me cela a lieu ordinairement, les extrémités infé- les douelles sont empêchées de revenir en *dedans* ésistance du fond, le cercle peut être placé quel- *en dessous* du centre de pression; il sera toujours uand il en sera le plus près possible, et il ne doit tre placé *en dessus*. Si, comme cela a lieu pour une vaisseau est toujours placé sur une extrémité, les loivent être placés symétriquement par rapport au e pression. Pour un tonneau qui se trouve supporté ar l'un tantôt par l'autre de ses fonds, on peut di- n poids en trois parties et placer les cercles à ces s. Si l'on veut plus de cercles, on en placera d'in- ires. Les cercles les plus forts doivent être enfin ré- our les extrémités. Nous avons, dans ce qui précède, que les douelles étaient droites; s'il en est autrement, ltats que nous venons de donner sont *légèrement* s.

Valeur totale de la pression supportée par les parois sseaux. — Nous avons vu que la pression d'un fluide ur un plan excessivement petit, de quelque manière it situé, était égale au poids d'une colonne ayant ue l'aire de ce plan et pour hauteur la profondeur lle ce plan est immergé (art. 263). Or le volume emblable colonne est égale au produit de sa base hauteur. Il s'ensuit dès-lors que la pression sur un an quelconque P, dont la profondeur est D, est égale ls d'une quantité de fluide dont le volume est repré- ar le produit P × D.

on suppose une surface supportant la pression d'un uelle que soit sa forme, composée d'un certain nombre s de ce genre, toute la pression sur la surface sera la *somme* de tous ces produits, c'est-à-dire à la des produits obtenus en multipliant chaque plan élé- e par sa profondeur, ou plutôt au poids d'un volume le égal à cette somme. Or on fera voir, dans l'ap- , que la *somme de ces produits* est égale au produit *la surface par la profondeur de son centre de gra-* i donc on suppose toute la surface enlevée, et qu'on une colonne ayant cette surface pour sa base, et pour eur celle qui était avant la profondeur du centre de

sont égales, chacune au poids d'une colonne correspondan[te] de la masse P'' P''' Q'' Q''', il s'ensuit que la résulta[nte] des pressions est égale à la résultante du poids.

La résultante des pressions sur les différentes parti[es de] la masse, décomposées en directions perpendiculaires [à] P'' Q'', passent donc par le centre de gravité de P'' P''' Q'' Q'''.

275. Il y a plusieurs cas où cette considération met à m[ême] de déterminer la direction de la résultante horizont[ale]. Ainsi (*fig.* 205 et 206) si la surface P Q eût été celle d['un] cône, la projection P''' Q'' et aussi la section P''' Q''' eus[sent] été des triangles; et si le sommet P du cône eût coï[ncidé] avec la surface du fluide, alors la *fig.* P'' P''' et Q'' Q''' se [fût] réduite elle-même à une pyramide, dont le centre de g[ra]vité eût été, à une distance du sommet, égale aux trois qu[arts] de la hauteur de la pyramide.

De même, si la surface P Q eût été une sphère, la m[asse] P'' P''' Q''' Q'' eût pris le galbe d'un cylindre dont la p[o]sition du centre de gravité se détermine aisément par les r[è]gles connues.

On peut donc, dans ces deux cas, déterminer la dir[ec]tion de la résultante des pressions horizontales sur la s[ur]face.

Ainsi, lorsqu'un cône creux, ou une sphère creuse, d[oivent] être plongés dans un fluide, et qu'on veut savoir où l['on] peut mettre des pièces en croix dans l'intérieur pour l[es] renforcer, on détermine, comme ci-dessus, la directio[n des] résultantes des pressions horizontales environnantes; et [ce] sera évidemment dans cette direction, ou symétriquem[ent] par rapport à elle, que l'on devra placer le croisillon de r[en]fort.

276. Tout ce que nous venons de dire est applicable da[ns] les deux suppositions de la pression du fluide, du *dedans* [au] *dehors* de P Q, ou du *dehors au dedans*. Dans le premier c[as] le *vaisseau* contient le fluide; dans le second il y est [im]mergé.

[...] donc un vaisseau conique était rempli de fluide, [...] [...]s que la résultante des pressions horizontales sur [...] [...]sse p[ar] un point distant de son sommet des [...] [...]ieur; et si l'on appliquait deux forces [...] horizontalement, sur ses côtés opp[osés] [...]mmet, et une force suffisante de [...]

ıs à son sommet, alors, coupant le vaisseau au-dessu du sommet vers le bas, nous trouverions que les parties ieures n'ont pas été forcées. De même on peut couper sphère, pleine de fluide, verticalement par son milieu aintenir les hémisphères par le moyen de deux forces zontales.

7. Ces principes ont évidemment une grande variété plications utiles dans la pratique. Elles guident pour la pente des vaisseaux, pour les parties à renforcer des ds vases destinés à contenir des liquides — par exemple les cuves et chaudières des brasseurs, des distillateurs eur l'établissement des digues, des écluses, etc. De fait, 'est aucune des branches de l'architecture hydraulique puisse être traitée en grand et avec sûreté par des gens ne soient pas profondément instruits des principes de lrostatique.

18. Nous avons jusqu'ici supposé le fluide passant sur ne partie du solide immergé, ou sur chaque partie du qui le contient; et dans cette hypothèse, nous avons voir que les pressions horizontales du fluide se détruisent par l'autre.

'hypothèse qui forme la base de cette conclusion n'a lieu dans tous les cas : supposons en effet qu'un corps creux, et qu'on lui enlève une partie PQ de sa surface f. 207), P'Q' étant l'autre partie de la surface qui a même projection que PQ. La surface PQ étant enlevée, pression sur elle n'aura plus lieu, et la pression horitale sur P'Q' ne sera plus supportée par aucune pres- égale et opposée; elle donnera donc au corps une ten-ce à se mouvoir dans la direction P'P; et cette tendance, ou moins grande, continuera jusqu'à ce que l'introduc- du fluide par l'ouverture PQ ait rempli le vase, ou moins jusqu'à ce que le niveau du fluide soit le même dedans et en dehors (1). En sorte qu'un vase ayant une

(1) Le fluide, pendant toute son introduction, exerce une certaine sion sur les bords de l'ouverture; et quand il a atteint intérieu-ent le niveau de l'ouverture, il y a une autre pression du fluide 'ant sur le fluide *contenu*, qui toutes deux tendent à supporter ession sur P' Q'; en sorte que nous ne pouvons pas considérer n enlevant la portion PQ de la surface, nous ayons entièrement ôté orps la pression qu'il supportait précédemment sur la partie enlevée.

[illegible] non par la simple force
pression inégale de l'eau sur son a
faisant un trou dans les sabords et p
pour épuiser.

379. Le raisonnement qui précè
vase contenant un fluide; la seule
le cas du vase, la pression est du de
que dans l'autre cas, elle était du

Ainsi (fig. 228), si PQ et P'Q'
des parois d'un tel vase ayant la m
sur un plan vertical donné quelconq
précède, que les pressions horizontal
perpendiculaires au plan donné, sont éga
sion du fluide sur la projection P''Q
directions opposées. Puisqu'alors les
P'Q' des parois du vase sont sollicité
et opposées, elles n'ont pas de tendan
si chacune des parties du vase est e
rizontale sur la partie opposée et corr
spondante, et tendra à la renverser.
ainsi, avec plus ou moins de force,
fluide restera au-dessous du niveau d
vase se redresse.

380. On peut expérimenter ce fait
[illegible] produite par une ouverture faite

l'eau par l'avant, et qu'après l'avoir élevée on la lais-
happer par l'arrière, le vaisseau serait mu à la fois
introduction de l'eau et par son écoulement, à raison
que nous avons dit précédemment.

. Il y a un très-bon instrument, appelé le moulin de
r, qui fonctionne d'après un principe analogue. AB
210) est un cylindre creux, mobile autour d'un axe
al MN; PP' est un autre cylindre placé à angles droits
e premier et communiquant intérieurement avec lui.
des extrémités qui sont fermées, il y a deux ouver-
faites dans les *parois* de ce cylindre horizontal, en sens
é. Celle en P est supposée en face du lecteur, et celle
du côté opposé.

posons maintenant que le tout soit rempli de fluide
à une certaine hauteur dans le tube vertical, les ouver-
P et P' étant toutes deux fermées. La pression horizon-
ur chaque partie du cylindre horizontal PP' sera alors,
s l'article précédent, supportée par une pression égale
respondante sur la partie opposée; le cylindre n'aura
aucune tendance de mouvement provenant de la pres-
lu fluide sur ses parois. Mais si l'une des ouvertures, P,
d'être fermée, la pression sur cette partie de la sur-
qui est enlevée pour déboucher l'ouverture, sera écar-
et la pression sur la partie opposée n'étant *plus sou-*
, le cylindre tendra à se mouvoir dans la direction
tte pression, c'est-à-dire à tourner autour de son axe
étant *libre* de se mouvoir autour de cet axe, il conti-
à tourner dans une direction opposée à l'écoulement
long-temps qu'il restera du fluide dans les cylindres.
l'autre ouverture est débouchée en même temps, il est
que, d'après le même principe, elle tendra à faire
voir l'autre branche du cylindre horizontal, en sens in-
e, ou bien tout le cylindre dans le sens de la première
che. Alors une impulsion puissante et rapide sera don-
à la machine, qui peut avoir, comme moteur, une foule
plications variées.

ette machine est certainement, de toutes celles connues,
qui donne l'effet le plus positif avec une *quantité*
ée d'eau et une *chute* d'eau pour le travail d'un mé-
sme. Non-seulement elle *applique* la pression de l'eau
rofitant de toute sa hauteur, mais encore avec le plus

grand avantage possible; car en allongeant la bra-
zontale PP', la pression peut agir à la distanc
l'axe de mouvement; c'est-à-dire que le bala
pression peut s'accroître tant qu'on veut. Il y a
autre avantage dans cette application de la force
d'eau provenant de la force centrifuge produite d
dre horizontal, par sa révolution, qui tend beauco
manière presqu'illimitée, à accroître sa pressio
parois du cylindre, et par conséquent à augmen
tion. En sorte qu'en allongeant les branches horiz
seulement il y a plus de force sans contre-poids,
vement de pression est accru, mais encore la p
même est augmentée.

C'est un fait très-remarquable, et qui n'est
pour ceux qui s'intéressent aux travaux de l'arc
draulique, que cette admirable machine, qui n'e
invention moderne, n'ait jamais, à ce qu'il s
même une exécution d'essai. Cet essai, d'ailleurs,
fait que sur une très-grande échelle et sous la d
ingénieur très-versé dans la théorie de l'hydrostat
guère de doute qu'un essai ainsi dirigé conduira
fait, toujours mis en avant par les juges les pl
de la théorie de cette machine, qu'elle est incon
supérieure à toute autre pour appliquer la fo
rans d'eau à faire tourner un mécanisme.

281. Il importe peu que la pression d'un flui
rieur d'un vaisseau qui le contient soit prod
poids ou par toute autre cause; tant que *tout*
du vaisseau supporte cette pression, elle n'a
dance à lui imprimer du mouvement; mais si
sur quelque partie cesse, en enlevant cette parti
du vaisseau, alors la pression sur la paroi opp
plus de contre-poids, il en résulte une tendan
vement.

Si donc on prend un vaisseau contenant un flu
à s'épandre lui-même (1), et qui par conséquen
toute la paroi du vaisseau, tant que le vaisse
de toutes parts, la pression du fluide n'a aucu

(1) Les fluides qui possèdent cette propriété sont d
Il y en a une grande variété; l'air que nous respirons

faire se mouvoir, parce qu'elle est contre-balancée de »s parts. Mais si l'on y pratique, en un endroit quelconune ouverture, la pression n'aura plus de contre-poids, s'ensuivra un mouvement dans la direction de cette pres- Ainsi, qu'une ouverture soit faite à la partie *inférieure* vaisseau, et il tendra à monter. Si l'élasticité du fluide :nu est suffisamment grande pour produire la pression nable, le *poids* du vaisseau et de son contenu sera sou- et le tout montera tant que cette pression sur l'intérieur aisseau continuera. C'est d'après ce principe qu'a lieu nsion des fusées volantes.

combustible est contenu dans un cylindre creux, ordinai-nt en carton, et qui n'est qu'en partie clos à son ex-ité A, où la fusée est étranglée. Cet étranglement est eurs assuré par une baguette qui l'empêche de fermer en-nent le col de la fusée. Quand la cartouche est sèche, force sur un moule, au fond duquel est fixée *vertica-nt* une baguette de métal PQ, dont les dimensions sont opriées à celles de la fusée et qui entre par le col de l'é-glement, en le rectifiant et donnant les proportions con-bles au trou bien dans l'axe du cylindre. Le combustible alors introduit et entassé de manière à former un tout le. Au sommet de la fusée se placent les matières explo- qui doivent partir quand le vol de la fusée est complet; ut étant renfermé dans le cône B, on retire la fusée du le, et il reste à son centre un espace creux PQ, préci-nt des dimensions de la baguette qui a passé dans le col étranglement. On attache alors à la fusée la baguette de qui doit la maintenir dans une position droite, et qui assez longue pour que le centre de gravité soit aussi bas possible et donner dès-lors le plus de *stabilité* possible 295) à cette position droite de la fusée. En mettant le à l'ouverture P, toute la surface intérieure du cylindre x PQ s'enflamme; il se produit une très-grande quan-le gaz très-élastique, et il en résulte une pression puis- sur tout l'espace inoccupé dans l'intérieur de la fusée. ouverture P était fermée, cette pression n'aurait aucun de mouvement sur la fusée, la pression sur la paroi in-ure étant de toutes parts contre-balancée par des pres-s égales et opposées; mais à raison de l'ouverture, la sion sur Q n'a plus aucun contre-poids autre que le

poids de la fusée et de sa baguette. Si les dimensi
ont donc été données à la fusée, et que la
force suffisante, la pression sera suffisante
r ce poids, et la fusée montera. Les poids
es fusées à la congrève sont considérables.
été caractéristique de la fusée, de porter avec
ulsion. Un boulet reçoit son impulsion de l
sion du gaz engendré par l'inflammation d
udre. La force impulsive ainsi communiquée
tr r un obstacle suffisant; et cette force une fo
le git sans force. Il n'en est pas ainsi d'u
l' est suffisant pour détruire son mouven
ou au moment, le principe du mouvement subsi
en elle; elle prend alors une nouvelle direction e
nouveau formidable. Une balle en passant dans un
tant perd une partie de sa force, et la balle morte e
tandis que la fusée prend sans cesse une nouvell
sait que des fusées congrèves ont traversé des rang
C'est d'après ce même principe de pression sans c
par l'inflammation de la poudre, que les artifice
sance tournent sur des axes, etc., etc.

(1) J'ai fait justice depuis long-temps (1814 et 1816)
rations anglaises, des prodigieux effets de leurs fusées
trouvera dans le *Manuel de l'Artificier*, qui fait pa
collection, une appréciation rigoureuse des effets de la
sée à ceux du boulet, de la bombe et de l'obus.

CHAPITRE IV.

Le poids d'un corps flottant est égal à celui du fluide il déplace. — 284. *Son centre de gravité et celui de la tie immergée sont dans la même verticale.* — 290. *Equire d'un prisme triangulaire.* — 291. *D'une pyramide.* — 2. *Stabilité des corps flottans; équilibre stable, non sta, et mixte.* — 296. *Analogie remarquable entre les conions de l'équilibre d'un corps flottant et celles d'un corps porté par un plan poli.*

. *Conditions d'équilibre et stabilité des corps flottans.* ous avons vu, dans le Chapitre précédent, que la presorizontale d'un fluide, quand il est en repos, ne proucune tendance à un mouvement quelconque du corps y trouve immergé, ou du vaisseau qui le contient. Nous voir maintenant, 1° que la pression verticale d'un sur un corps immergé partiellement ou en totalité, à élever le corps avec une force égale au poids d'une ité de fluide dont le volume est égal à celle de la porle la masse immergée; ou bien, en d'autres termes, ine force égale au poids du fluide déplacé; 2° que la ante de l'excès de la pression vers le haut sur celle vers d'un fluide sur un corps, *passe par le centre de grae la partie immergée.*

ur la première de ces propositions, il suffit de renvoyer teur à l'art. 272. On y voit que la pression verticale ne portion quelconque de la surface d'un corps immergé un fluide, est égale au poids de la colonne du fluide diatement *survenant* contre cette portion de surface et int à la surface du fluide; de plus, qu'il en est ainsi ue part que soit située la surface; en sorte que la presur la surface PQ (*fig.* 212) est le poids de la colonne Q'' Q; et la pression sur P' Q' qui a la même pron P'' Q'', *le poids* de la colonne P' P'' Q' Q''.

Or cela est vrai, quelque grandeur qu'aient les su PQ et P' Q'; donc, en les accroissant de manière q coïncident avec MPQN et MP'Q'N, il s'ensuit que la sion sur la première est égale au poids de la colonne NN''M'', et celle sur la seconde, au poids de la c MP'Q'N''M''.

Mais la différence des poids des deux colonnes est év ment le poids d'une masse de fluide égale à tout le soli mergé ; et la différence de ces poids est aussi la diff des pressions du fluide sur les surfaces MPQN et M N, dont la première est *vers le bas*, et la dernière *haut*. Il s'ensuit dès-lors que la *pression vers le hau fluide sur la surface d'un corps immergé, excède la sion vers le bas du poids de la quantité du fluide des dimensions que le corps.* Cette pression vers le hau à supporter son poids, et l'on dit techniquement que le *perd* une partie de son poids égale à la quantité du fluid déplace.

D'ailleurs, non-seulement ceci est vrai quand le co *totalement* immergé, mais encore lorsqu'il ne l'est qu tiellement. Il est évident en effet que si la surface du M'' N'', au lieu d'être totalement *au-dessus* du co coupe de manière à en laisser une partie en dessous les poids des colonnes M''MPQNN'' et M''MP'Q égaleront encore les pressions vers le haut et vers le b le corps, et leur différence égalera encore le poids d quantité de fluide que le corps aura déplacé; en sort *dans tous les cas, l'excès de la pression vers le haut pression vers le bas d'un fluide sur un corps totalem partiellement immergé, est égale au poids du flui placé.*

284. La seconde proposition suit encore de la cons n que l'excès de la pression en PQ sur celle en P'(oids de la colonne PP' Q'Q, et qu'il en est de us les autres élémens correspondans de la su par conséquent, la résultante de tous ces ex -dire de *tout* l'excès de pression, do 'e des poids de toutes les colonnes : laquelle résultante passe évide ité de toute la masse, si elle est

;ée, ou de la partie immergée, si elle ne l'est
ient.

pression *effective* du fluide vers le haut, ou
pression vers le haut sur la pression vers le
jours par le centre de gravité de la partie im-
orps. Or le poids du corps immergé tend à
te pression du fluide vers le haut, et doit être
oit exactement en équilibre avec lui. Les deux
ivantes sont évidemment nécessaires pour cet

poids du corps soit égal à la pression du fluide
ou bien, en d'autres termes, qu'elle soit égale
fluide qu'il déplace.

résultante de la pression vers le haut soit dans
opposée à la résultante du poids du corps;
d'autres termes, que la verticale du centre de
partie immergée du corps passe aussi par le
ivité du corps lui-même.

deux conditions sont remplies, le corps im-
en équilibre, et il est dit *flottant*.

ernière condition est *nécessairement* satisfaite,
it la forme du corps, pourvu seulement qu'il
it immergé; car dans ce cas le centre de gravité
immergée est le centre de gravité de tout le
sultante de la pression vers le haut agit donc
nt dans une direction opposée à celle du poids,
agit vers le haut, et l'autre vers le bas; toutes
t sur un même point, le centre de gravité de

ı corps est totalement immergé, la pression du
ıt produire en lui aucune tendance à un mou-
ɔtation; le corps peut s'enfoncer dans le fluide,
:emonter; mais il ne tournera pas sur lui-

:s il remonte jusqu'à la surface, et qu'une partie
sorte, puisque le centre de gravité du corps
sa partie immergée ne coïncident plus nécessai-
peut, et suivant toute probabilité il *arrivera*
ı verticale du premier centre de gravité ne passe
ɜconde : ainsi la seconde condition d'équilibre ne

[illegible]

On voit dès-lors que tout corps d[illegible] que celui d'un égal volume de fl[illegible] et abandonné à lui-même, trouver[illegible] la surface du fluide, une position [illegible] appelée position d'équilibre.

[illegible] Si la matière dont la mass[illegible] [illegible], de manière à prendre la f[illegible] la surface extérieure aura des dime[illegible] [illegible] assez grandes, alors on voit [illegible] peut flotter, quelque pesante qu'el[illegible] [illegible] en un vaisseau dont l[illegible] [illegible] déplacera nécessairement, avan[illegible] [illegible] son intérieur, en s'immergea[illegible] [illegible] le poids soit plus considérab[illegible] [illegible] sera donc contre-ba[illegible] [illegible] des barques cons[illegible] [illegible] un vaisseau de pierre[illegible] [illegible] toutes les formes [illegible] [illegible] celle dont la solidit[illegible]

la *moindre*; en d'autres termes, si l'on veut donner forme à un corps d'un certain volume connu, de ma- .. à ce qu'il ait la moindre surface qu'il puisse avoir, .. ce volume, il faut faire une sphère. Or si l'on veut faire .. corps flottant qui soit capable de supporter précisément .. poids *donné*, on sait qu'on doit le faire de manière à qu'il déplace une quantité de fluide dont le poids soit .. au poids donné; et aussi que cette quantité de fluide égale au solide *contenu* par le corps. Le solide contenu .. corps flottant est donné, par conséquent, dans ce cas; il .. suit que si l'on veut former un semblable corps, avec la .. moindre surface exposée à l'action du fluide, il faut faire une .. sphère.

.. La seconde condition de l'équilibre d'un corps flot- .. « que son centre de gravité et celui de la partie .. immergée soient dans une même verticale, » est nécessai- .. satisfaite, quoiqu'il y ait une grande partie du corps .. immergée, pourvu qu'il soit symétrique par rap- .. à une certaine ligne et immergé avec cette ligne dans une .. position verticale. En effet, étant immergé ainsi, sa *partie* .. immergée sera symétrique autour de l'axe dont nous avons .., aussi bien que pour tout le corps. Or (art. 61) le .. de gravité d'un corps symétrique autour d'une ligne .. ou axe, est nécessairement dans cette ligne ou axe. .. suit dès-lors que le centre de gravité du corps, et de .. partie immergée, sont tous les deux dans l'axe dont nous .. parlé, et par conséquent dans la même verticale tous .. deux.

.. Ainsi un cylindre immergé avec son axe vertical aura .. seconde condition d'équilibre satisfaite, à quelque pro- .. fondeur qu'il soit enfoncé, puisque le centre de gravité de .. partie immergée (étant celui d'une portion du cylindre .. par une section transversale ou perpendiculaire à .. axe), est aussi lui-même dans l'axe du cylindre. Dès- .. aussi, une sphère étant immergée dans un fluide, la .. condition d'équilibre sera satisfaite, à quelque pro- .. fondeur et dans quelque position que la sphère soit immergée, .. qu'une sphère est symétrique autour d'un diamètre quel- .. que, et que, dans quelque position qu'elle soit immergée, .. de ses diamètres doit être vertical. Pour un corps pris- .. matique, c'est-à-dire ayant ses côtés droits et tel que toutes

les sections transversales, faites perpendiculairem côtés, soient semblables et égales, il est évident qu' certaine ligne parallèle à ces côtés, dans laquelle se les centres de gravité de toutes les parties qu'on enlever par des sections du genre de celles dont n parlé. Alors, pourvu que le corps soit immergé ligne ou axe vertical, le centre de gravité de la p mergée s'y trouvera toujours ainsi que le centre du corps lui-même, à quelque profondeur qu'il foncé. Le centre de gravité du corps prismat (*fig.* 213), et celui d'une portion *quelconque* q enlevée *en travers*, ou dans une direction perpen ses côtés, sera évidemment dans la ligne O X q rallèle à ses côtés. Si donc le corps est immergé ligne, ou avec ses côtés, verticalement, la second d'équilibre sera satisfaite.

Si d'ailleurs, au lieu d'un corps s'immergeant ment, on l'immerge obliquement avec ses côtés, plus ainsi, et il faudra recourir aux *conditions gén quilibre et de stabilité des corps flottans*. Mais discuter, examinons deux cas qui nous serviront éclaircir les principes que nous venons d'établir.

290. Avant tout, imaginons un corps solide, e coin triangulaire (*fig.* 214), immergé dans un un de ses angles en bas. Il est évident que les co quilibre de ce corps seront précisément les mêm longueur qu'il ait, et seront par conséquent les celles d'une tranche étroite de ce corps.

Soit A B C *fig.* 215) une de ces sections, et (de gravité. Ce point est évidemment dans la lig 68) joignant le point C avec le milieu D de la tance C G étant égale aux deux tiers de C D. S triangle immergé de manière que A B puisse êt tale, et soit P C Q sa partie immergée; le plan appelé *plan de flottaison*. Puisque P Q est par C D coupe P Q en deux parties égales au poi bien que A B en D. Il s'ensuit dès-lors que le ce vité du triangle P C Q est en C *d*, en un point *g*, des deux tiers de C *d*.

Puisqu'alors les points G et *g* sont tous deux ... C D, et que ce sont les centres de gravité

mergée; il est nécessaire à l'équilibre, pour
ition, que la ligne CD soit elle-même *verti*-
:st horizontale par hypothèse, CD doit donc
iculaire à AB. Mais puisque CD coupe AB
égales, elle ne peut lui devenir perpendicu-
|ue le triangle est isocèle ou équilatéral, ayant
; A et CB égaux. On voit donc que dans toute
d'un triangle, il ne peut rester en repos avec
tale.

ie ABC (*fig.* 216) représente un triangle *im*-
ment dans une position quelconque donnée,
partie immergée. Coupons en deux parties
D et PQ en *d;* joignons CD et C*d;* prenons
leux tiers de CD, et C*g* égale aux deux tiers
G et *g* sont les centres de gravité du triangle
immergée. Joignons C*g*, et il faudra alors,
it équilibre, que la ligne C*g* soit verticale,
pendiculaire, à PQ, qui, étant une *continua*-
ice du fluide, est nécessairement horizontale.
e condition d'équilibre. La première est que
le déplacé par la partie immergée PCQ, soit
le tout le triangle. Ces deux conditions suffi-
·miner géométriquement la position du trian-

is le cas d'une pyramide immergée dans un
imet en bas.

217) le centre de gravité de sa base; joi-
prenons AG égale aux trois quarts de AE;
centre de gravité de la pyramide. Soit APQR
rgée, et *e* le centre de gravité de *sa* base. Joi-
prenons A*g* égale aux trois quarts de A*e;*
centre de gravité de la partie immergée. Il est
· l'équilibre que G et *g* soient dans une même ver-
l'on joint G et *g* par la droite G*g*, cette ligne
:ale quand le corps est dans une position d'é-
PRQ est horizontale, car c'est le plan de
doit donc être perpendiculaire à PRQ. Cette
ite à la *première* condition d'équilibre, que le
e déplacé par APQ soit égal à tout le poids de
:st suffisante pour déterminer géométriquement
acte de la pyramide.

292. *Stabilité des corps flottans.* — Soit AB (*fig.* 218 | 219) un corps partiellement immergé dans un fluide. Soit son centre de gravité, et *g* le centre de gravité de la part immergée. Supposons que le corps tourne continuellem autour de son centre de gravité G, dans la direction indiq par la flèche courbe; et qu'il soit en même temps mu v le haut et vers le bas, suivant la verticale KL qui passe p G, de manière à ce qu'il satisfasse, dans toutes ses pos tions, à la première condition d'équilibre, que son poids s égal à celui du fluide qu'il déplace. Supposons en outre q cette révolution a commencé quand le corps était dans s position d'équilibre, et quand le point *g* était par conséqu dans la verticale KL.

Quand le corps commence à sortir de cette position, le p *g* se mouvra hors de la verticale. Or si, comme dans *fig.* 218, son mouvement a sa direction vers celle dans quelle le corps tourne, il est clair qu'il y a dans le corps tendance à *continuer* sa révolution dans la direction dan quelle on l'a déjà fait tourner, c'est-à-dire, à *partir* d position d'équilibre : en effet tout le poids du corps peu supposé agir *vers le bas* en G, et toute la pression du *vers le haut* en *g* : ce sont les seules forces qui agissent s corps. Or, soumis à l'action de ces deux forces, le corps demment tournera dans la direction vers laquelle il a commencé à tourner; c'est-à-dire, à *partir* de sa po d'équilibre, qui n'est par conséquent qu'un équilibre ins

Supposons maintenant que la révolution du corps se c nue dans la même direction qu'avant. Le point *g* conti pendant un certain temps à sortir de la verticale, d direction de la révolution; la *plus grande* partie de ce trouve immergé étant de ce côté de la verticale; mais par elle commencera à se changer en la moindre partie de l côté de la verticale; les parties LRQ et LRP (1) co ceront à se rapprocher de l'égalité, et le point *g* s'appr de nouveau de la verticale, décrivant une courbe indiqu

(1) Ceci se comprendra peut-être mieux à l'aide de la *fig.* ... est un ... dans l'une de ses positions *obliques*. La positio ... à verticale, dépend évidemment des grandeurs ... des parties LRP et LRQ; il est néc ... grande et le plus distant de ces parties.

. Enfin *g* se retrouvera dans la verticale, et le
vité du corps étant dans la même verticale, la
tion d'équilibre se trouvera satisfaite de nou-
nière condition est aussi supposée remplie dans
n du corps. Nous avons donc une seconde po-
bre. Maintenant laissons la révolution du corps
ans cette même direction. Le point *g* alors ou
ticale, en continuant à se mouvoir dans la di-
t laquelle il se mouvait en *dernier lieu*, ou il
s'éloignant de nouveau de la verticale comme
u. S'il croise la verticale, il se trouvera du
celui vers lequel se meut le corps (*fig.* 219);
si nous considérons que le poids du corps et la
uide vers le haut agissent comme s'ils étaient
g, on s'apercevra que leur tendance *actuelle*
au corps un mouvement contraire à la direction
le il se meut, ou *vers* sa dernière position d'é-
conséquent ici l'équibre est *stable*. Mais si, con-
otre seconde hypothèse, le point *g* ne *croise pas*
courbe décrite par ce point ne la coupant plus,
nt, alors la tendance du corps sera encore pour
a direction dans laquelle il a déjà tourné. Si
s d'ailleurs de cette position faiblement en *ar-*
mmencera à tendre à se mouvoir dans la même
vant, c'est-à-dire *opposée* à son *dernier* mou-
ces circonstances donc, la position d'équilibre
propriétés remarquables, qu'elle se meut hors
n dans une direction, et qu'elle tend à s'en éloi-
se meut dans une autre, et qu'elle tend à y re-
osition dans ce cas est dite d'équilibre mixte.
e qui précède, qu'en tournant le corps conti-
ns une direction donnée, et faisant qu'à chaque
isfasse à la première condition d'équilibre, on
s'il n'intervient aucune position d'équilibre
sitions seront alternativement *stables* et *insta-*
i d'alternative des positions arrive aussi, en
sitions d'équilibre mixte, s'il y a lieu.

clair d'après ce qui précède, et l'on voit à la
n des figures, que le caractère de stabilité de
n d'équilibre est déterminé par la direction du

peut construire un vaisseau de manière à ce
à ces conditions.

Avant que ces principes ne fussent connus
teurs, il arrivait souvent que des vaisseaux a
vaient d'un équilibre instable, excepté peut
étaient assez pesamment chargés pour amen
la plus grande profondeur. D'autres, quoiqu
parût stable avec le petit mouvement auquel
exposés dans le port, arrivaient ensuite à
n'avaient d'équilibre stable que d'un côté, q
y couchait. D'autres se renversaient entièren
maintenant a mis les marins à l'abri de c
secret du métacentre ne pouvait jamais êtr
par les investigations de la science, et non
ou l'observation.

296. Il est une autre vue qui n'est pa
connue, et sous laquelle on peut envisager
portante des corps flottans; elle est, en quel
velle, et conduit directement à des résulta
valeur-pratique; nous allons l'exposer à nos

Imaginons un nombre infini de plans, dé
égal volume de la masse A B (*fig.* 221). Pr
de gravité de toutes ces sections, et suppos
nombre infini, soient dans une certaine surfac
l'un de ces plans; alors si la portion P B Q
mergée, la première condition d'équilibre s

Soit *g* le centre de gravité de P B Q, *g*
surface G G'. On peut voir aussi, comme
dans l'appendice, que le plan tangent à la
parallèle au plan P Q. Or P Q est le plan de f
la portion P B Q du corps est immergée; P
rizontal, et la tangente à la surface G G' e
tale. Or la pression du fluide agissant en
haut est *verticale*. Elle est donc *perpendicul*
G G' en *g*. Son effet est donc précisément le
surface G G' reposait sur un plan uni, parfa
tal en *g*. Il en est de même pour chacune des
du corps et pour chaque autre point de la
... de ses positions, l'effet des for
... même que si tout son poid
...ité, et qu'il reposât s

par l'intervention de la surface G G'. Les conditions bre et de stabilité du corps flottant se réduisent alors mêmes à celles d'un corps solide reposant sur un plan tal par une surface G G'; il s'ensuit qu'il y a autant ;ions d'équilibre que l'on peut mener de perpendi- du centre de gravité du corps à sa surface. Elles se- ɔc *stables* ou *instables* (art. 222), suivant que le centre ité du corps est, dans ces positions, en dessous ou en lu centre de courbure de la surface G G', au point de ırface où le centre de gravité de la partie immergée re alors. Ce centre de courbure de G G' est le méta-

ɪue le plan de flottaison P Q est parallèle à la tangente face G G' en *g*; et cela est vrai pour tout autre plan ıison et toute position correspondante de *g*; il est clair ıurface qui est *touchée* par tous les plans de flottaison, blable à la surface G G', et n'en diffère que par la ır. On comprend aisément dès-lors comment la po- lu centre de courbure en un point quelconque *g* de st dépendante de la forme et des dimensions du plan ıison.

CHAPITRE V.

'avité ou pesanteur spécifique. — 298. *Unité de pesan- spécifique.* — 299. *Règle générale pour la déterminer.* ɔ0. *Méthode pour trouver les pesanteurs spécifiques rps solides.* — 303. *Balance hydrostatique.* — 304. *Mé- pour trouver la pesanteur spécifique des fluides.* — *Hydromètre.* — 306. *Hydromètre de Sike.* — 307. *Aéro-* . — 308. *Hydromètre de Fahrenheit;* — 309. *de ılson.* — *Table de pesanteurs spécifiques.*

Pesanteur spécifique. — Cette force qui existe dans ıatière et qui s'y trouve fixée *éternellement et insé- ment, sous le nom* de gravité ou poids, n'y est pas

Nous renfermerons donc dans sa première acception t poids ou gravité; et quand nous parlerons du poids la gravité d'un corps ou d'une substance, nous en-ons le nombre des unités de poids contenus dans ce ou dans cette substance.

. Quant à la *seconde* acception, celle dans laquelle git du poids d'un volume donné, ou d'une portion de ance, nous la préciserons par le terme de *gravité spé-e*, ou *pesanteur spécifique*. La pesanteur spécifique substance est par conséquent le nombre d'unités de contenus dans un *certain volume connu*, ou dans une ine *masse de cette* substance; lequel *volume* ou *masse* ris ordinairement pour une unité de tout le volume la masse.

s unités de poids employés dans le mesurage de la *pesan-spécifique* d'un corps ne sont pas les mêmes que celles age pour déterminer son poids ordinaire. Ainsi l'on ut pas dire que la pesanteur spécifique d'un corps est nt de kilogrammes par mètre cube, désignant par ce e, un kilogramme, le poids d'une certaine quantité d'eau minée, ainsi que nous l'avons expliqué (art. 12). Mais mesurer la pesanteur spécifique d'un corps, on doit urs prendre pour unité de poids, le poids d'une quan-d'eau de même volume que l'unité de volume du corps, le que puisse être cette unité. Si donc le volume est me-en centimètres cubes, l'unité de poids employée dans étermination de sa pesanteur spécifique est le poids d'un imètre cube d'eau. La pesanteur spécifique d'un corps t, de fait, rien autre chose que le nombre des centimètres s d'eau égaux en poids à l'un de *ses* centimètres cubes. corps est mesuré en mètres cubes, sa pesanteur spé-ue est le nombre de mètres cubes d'eau dont le poids it égal à l'un de *ses* mètres cubes. Ainsi, dans la table pesanteurs spécifiques, que l'on trouvera à la fin de ce pitre, le nombre 8,900 donné pour la pesanteur spéci-e de cuivre, *indique* que chaque centimètre cube, ou chaque mètre cube de cuivre, pèse autant que 8,900 cen-ètres cubes, ou bien que 8,900 mètres cubes d'eau.

achant ainsi le nombre des centimètres que cube un ps, et connaissant sa pesanteur spécifique, on peut dire ombien d'eau il *est égal* en poids, en multipliant sa pe-

fluide lui-même supporte donc le reste; et sa pression vers le bas est accrue du poids du fluide déplacé. L'équilibre ne peut être maintenu dès-lors qu'en mettant dans le plateau opposé un poids égal à celui du fluide déplacé.

On peut vérifier ce fait très-aisément en plaçant dans le plateau opposé, au lieu du poids *w*, un autre vase précisément de même dimension que AB, et y versant du fluide jusqu'à ce qu'il y ait équilibre. Marquant la hauteur à laquelle le fluide est dans les deux vaisseaux, puis immergeant le corps dans le vase AB comme précédemment, et ajoutant assez de fluide dans l'autre vase pour que l'équilibre soit conservé, on trouvera que la surface de fluide ainsi versée s'élevera dans le vase précisément à la même hauteur où l'immersion du solide l'a fait élever dans l'autre. La quantité du fluide déplacé est donc précisément égale à la quantité de fluide dont le poids est égal au poids perdu par l'immersion.

303. La *fig.* 223 représente un instrument que l'on appelle la balance hydrostatique. EF est le fléau, et G, H les bassins d'une balance dont le point d'appui est un couteau reposant sur un plan d'agate contenu dans une espèce de bride *m n*, à travers laquelle passe le fléau, et qui est suspendu par une cordelle sur une poulie P, au sommet de la colonne verticale A B; cette cordelle passe sur une autre poulie en Q, et sert à élever ou à baisser la bride *m n* à volonté.

e f sont deux branches d'un *bras* fixé dans la colonne A B. Ce *bras* reçoit le fléau de la balance quand la bride est suffisamment baissée. Le couteau est ainsi déchargé de la pression du plan d'agate, quand on ne se sert pas de l'instrument. C et D sont deux vases placés immédiatement au-dessous des bassins de la balance. MN est un plateau ou support troué en *g* et *h*, immédiatement sous les *centres* des bassins, auxquels centres sont attachés des fils métalliques G*g* et H*h* passant par les trous du support et ayant leurs extrémités terminées en crochets. En H*h* est suspendue une échelle également divisée; et à l'extrémité de l'échelle un fil métallique qui porte une boule de cuivre d'environ 1/4 inch (6 millim.) de diamètre. Le fil SK est d'une telle épaisseur que chacun de ses *inches* (25 mill.) déplace une quantité de [illegible] dans l'instrument dont nous donnons le dessin

eur était telle que chaque *inch* (25 millim.) du fil dé- 1/2 *grain* (32 millig.) d'eau.

osons maintenant que le vase C soit rempli d'eau et le en en équilibre au moyen d'un poids connu, placé dans n G. Soit I un index fixé de manière à correspondre ient avec une division du milieu de l'échelle, marquée t dont les divisions partant de ce zéro vont vers le vers le bas; cet index s'ajuste par une vis de rappel T. ons que chaque *inch* (25 millim.) soit divisé en cin- parties égales. Alors puisqu'un *inch* (25 millim.) du ice 1/2 *grain* (32 millig.), la partie du fil entre deux is déplacera un centième de *grain* (0 millig., 64.)

déterminer la pesanteur spécifique d'une substance, écessaire, avant tout, de connaître le *poids* de la por- umise à l'examen. On place donc la masse dans le bas- et l'on tient compte des poids connus, placés en H ils lui font presqu'équilibre. Soient, par exemple, 73 ds, le poids de la substance étant un peu au-delà et n'atteignant pas 74, ce qui exige de chercher la i intermédiaire.

ison de l'insuffisance des poids dans le bassin H, il a, mais à mesure qu'il monte, il y a *continuellement* du fil SK immergé; par conséquent il y a moins d'eau ie, et la tendance vers le bas du bassin *s'accroîtra* con- ément, jusqu'à ce qu'enfin l'équilibre s'établisse entre ix bassins.

a quantité de fil qui s'élève hors de l'eau est notée ndex; si donc l'index arrive à la vingt-septième di- par exemple, puisque le fil en s'élevant dans l'espace leux divisions adjacentes diminue la quantité de fluide d'un centième de grain (0 millig., 64), en s'élevant me division, il le diminuera des 27 centièmes d'un 17 mill., 28).

fluide déplacé étant diminué de ce poids de l'eau, la n vers le bas s'accroît d'autant et devient égale à 73 plus 0,27 de *grain* (4743 millig., 78). Mais cette n vers le bas est précisément égale au poids du corps bassin opposé; ce poids est donc 73 *grains*, 27 (4743 , 78).

oids du corps étant ainsi déterminé avec une grande on, suspendons-le maintenant par un crin au crochet g,

ôtés du bassin, et que l'index marque
au lieu de celle 27 qu'il marquait ava
l'immersion du corps sera 25 *grains* 1
c'est donc le poids de la quantité de
place; et par ce que nous avons dit p
teur spécifique est égale au nombre 7
18 (art. 301).

Il est nécessaire évidemment que le
par le moyen de quelque fil très-délié
tenir compte de la partie du fil immer
fil gW est très-délié, tel qu'un crin p
trop faible pour supporter une masse
considérables. Pour remédier à cet inc
pendre avec le corps une bulle de ver
blement constaté avec soin le poids e
déplace cette bulle qui aide à support
dès-lors la tension sur le crin. En pro
nière que précédemment, on s'assu
composé de la bulle et de la substance
qu'il perd par l'immersion; si l'on déd
de la bulle, et du second le poids du
on a le poids du corps seul et le poi
place; divisant alors l'un par l'autr
cédemment, la pesanteur spécifique

ıême manière que précédemment, et l'on a de même ıteur spécifique du corps.

substance dont on cherche la pesanteur spécifique ɔposée de petites pièces détachées, on suspend un métallique au bassin G, et après s'être assuré du ɜ ce disque et de l'eau qu'il déplace, on place dessus rses pièces qui composent la substance, on prend le e l'ensemble de ces pièces, le poids de l'eau que cet le déplace, ou *perdu* par l'immersion, et l'on procède dans les cas précédens.

substance est soluble dans l'eau, on peut l'enfermer ıe boule de cire, après s'être assuré du poids de la de celui de l'eau qu'elle déplace; on arrive ainsi, tou- e la même manière, à la pesanteur spécifique du corps, trayant le poids de la cire de celui du tout, et le poids u déplacée par la cire de celui de l'eau déplacée par ble; puis divisant les deux restes l'un par l'autre.

. trouvé que des substances de même espèce ont la ɔesanteur spécifique, quels qu'en soient les échantil- umis à l'examen 1). Ainsi chaque échantillon d'or ɜ fonte, placé dans la balance hydrostatique, a une ːur spécifique de 19,25, et chaque échantillon de cui- ıne pesanteur spécifique de 8,900. Mais si la substance ıposée, alors la pesanteur spécifique du composé dif- de celle de l'un et de l'autre des composans; la quan- l'eau que déplace le composé n'étant plus la même que ıe déplaceraient séparément les mêmes poids de chacun nposans. Il s'ensuit que la balance hydrostatique peut à constater qu'une substance est alliée, pourvu que nnaisse sa pesanteur spécifique à l'état de pureté. un des modes les plus utiles pour reconnaître si les : ont de l'alliage, ou s'ils sont purs; et l'on peut établir ainsi assez exactement la quantité de l'al-

t le monde connaît l'histoire de Hiéron, roi de Sy- , qui, s'étant fait faire une couronne d'or dans laquelle ɔçonnait que l'ouvrier avait introduit quelque alliage,

ette règle est générale pour la plupart des corps, dans les mê- ɔonstances d'une même température.

soumit la question à Archimèdes. Ce savant étant un jour dans son bain, et considérant la nature du support que l'eau donnait à son corps, en lui enlevant une partie considérable de son poids, fut frappé de l'idée que cette force [illegible] e support [illegible] ue le trop devait être précisément égale à la quantité d'eau [illegible] était plein de la baignoire avait fait répandre lorsqu'il [illegible] poids dedans; c'est-à-dire qu'elle devait être égale au [illegible] e pr l'eau déplacée par son corps. Cette idée constitue [illegible]. L et le grand secret de la théorie des corps flottans [illegible] elo nie puissant d'Archimèdes le porta de suite à dév[illegible] a série des raisonnemens qui font le sujet de ce ch[illegible] leur application au problème de la couronne le fr[illegible] sortit du bain en s'écriant : « *Je l'ai trouvé* [illegible] *trouvé !* » (1)

Archimèdes a découvert et fondé la théorie des corp[illegible] branche fondamentale et la plus importante, en pr[illegible] la science de l'hydrostatique. Il a exposé cette thé[illegible] beaucoup de soins dans son traité « *de humido* [illegible] *tibus.* »

La théorie du levier doit aussi son origine à Arc[illegible] et cette théorie est à la statique ce qu'est la th[illegible] corps flottans à l'hydrostatique. Nous devons à cet[illegible] ble savant les découvertes les plus importantes [illegible] deux branches fondamentales de la science de [illegible]sique.

La balance que nous venons de décrire est calcu[illegible] déterminer les pesanteurs spécifiques des corps, ave[illegible] *trême* précision. Il y a des cas où il est de la plus g[illegible] portance de connaître *exactement* ces pesanteurs sp[illegible] tout prix.

Le lecteur se sera sans doute aperçu de lui-même [illegible] qu'on n'a pas besoin d'une très-grande exactit[illegible] lance peut se simplifier beaucoup. Une balance [illegible] à laquelle on ajoute un appareil quelconque pou[illegible] le corps sous un des plateaux, devient une bala[illegible] tique d'une assez grande précision pour l'usa[illegible]

244. *Méthodes de détermination des pesanteu[illegible] des fluides.* — Pesons un vase vide, et pesons-l[illegible]

(1) [illegible] cette exclamation au même savant [illegible]on du *carré de l'hypothénuse.*

oir rempli d'eau distillée. Le poids de cette eau
ient sera dès-lors connu. Remplissons-le de nou-
uide dont on veut déterminer la pesanteur spécifi-
sons-le ainsi rempli. Le poids de la quantité de ce
l contient sera dès-lors connu.

ivons donc quel poids de l'eau distillée contient le
uel poids de ce fluide; c'est-à-dire que nous con-
es poids de *volumes égaux* d'eau et du fluide; di-
ic ces deux poids l'un par l'autre, nous aurons la
spécifique du fluide (art. 301).

e un instrument appelé *hydromètre*, qui s'appli-
manière plus simple encore et plus facile à la
tion des pesanteurs spécifiques des fluides.

ydromètre. — On peut expliquer ainsi qu'il suit le
e cet instrument. Un corps, quand il se maintient
ns un fluide, déplace une quantité de ce fluide pré-
gale à son *propre poids*. Si donc le *même* corps est
tant dans différens fluides, les quantités de ces fluides
ice, en s'y maintenant flottant, dépendront de leurs
u pesanteurs spécifiques. Il doit donc déplacer plus
e *plus léger* pour y flotter, que du fluide le *plus pe-*
c il plonge plus profondément dans le fluide le plus
dans le plus pesant.

à chaque fluide de pesanteur spécifique différente,
l une profondeur différente de l'immersion du même
les pesanteurs spécifiques correspondantes aux de-
s d'immersion peuvent être aisément calculées par
les que le genre de cet ouvrage ne comporte pas
expliquions ici, mais que l'on trouvera dans l'ap-

ain nombre des différentes profondeurs d'immersion
ué en divisions sur le côté du corps, avec la pe-
écifique correspondante à chaque, déterminée par
et annexée à la division, ou enregistrée dans une
l'accompagne; on peut, en plaçant le corps dans
quelconque, et observant à quelle division il se
dans son immersion, déterminer exactement la
spécifique du fluide.

hydromètre de Sike, qu'un acte du parlement or-
mployer pour l'impôt établi sur les spiritueux, est
nent de ce genre (*fig.* 224). A est une sphère

creuse en bronze, et aux extrémités d'un même diamètre de cette sphère, sont fixés, dans son prolongement, deux systèmes F B et C D; le premier, de forme conique, ayant sa pointe à son extrémité supérieure vers la sphère, et long d'un *inch* et 1/8 (32 millim.), se termine en boule que l'on charge de manière à la rendre plus pesante que toute autre partie de l'instrument. Le but de ce lest est d'amener le centre de gravité de l'instrument aussi bas que possible, afin de l'éloigner le plus possible en dessous de son *métacentre* (art. 295), et que l'instrument puisse avoir la plus grande stabilité possible. La sphère A a pour objet de déplacer une assez grande quantité de fluide pour que, dans le fluide le plus léger, le poids du fluide déplacé, lors de l'immersion totale de l'instrument, soit égale au moins à son poids; le fluide, dans ce cas, affleurant exactement le haut C de la tige graduée C D. Cette tige est de bronze aussi, très-exactement calibrée tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, et de 3 à *4 inches* (75 à 100 millim.) de longueur.

On la divise de deux côtés en onze parties égales que l'on subdivise en deux également.

L'instrument est plongé dans le fluide dont on veut déterminer la pesanteur spécifique, jusqu'à ce qu'il soit mouillé d'abord jusqu'au plus haut degré de l'échelle, et qu'il se maintienne ensuite en équilibre. La division de l'échelle qui marque l'intersection de la surface du fluide est alors notée, et l'on trouve, dans la table, la pesanteur spécifique correspondante à cette division. Une correction est nécessaire, pour la température, et elle se trouve indiquée également dans les observations sur l'emploi des tables.

Huit poids circulaires, dont un est représenté en E, accompagnent l'instrument. Une coulisse y est pratiquée et se termine par une ouverture circulaire; à l'aide de cette coulisse on fixe le poids sur la tige C D que l'on en coiffe, sans que le poids puisse glisser, parce que la tige s'élargit à partir du col où s'adapte le poids.

L'emploi de ces poids a pour but d'adapter l'instrument aux f[illegible] dont la pesanteur spécifique serait trop grande pou[illegible] longeât jusqu'au niveau de sa *plus basse* di[illegible] qu'il y plonge étant ainsi chargé. Enfin un [illegible] de pesanteurs spécifiques est nécessaire pour [illegible] surcharges de l'instrument.

ensibilité de l'hydromètre est la variation de profon- son immersion que chaque différence de pesanteur ue du fluide produira. L'immersion est d'autant plus que le poids de la partie au-dessus de la tige est plus et que la pesanteur spécifique du fluide est *moindre*, ue la section de la tige. Elle est d'ailleurs d'autant ande que la longueur de la tige au-dessous du zéro elle est plus considérable. Un hydromètre doit donc utant de poids et autant de longueur de tige mince ssible, afin que plongé dans le fluide, il s'y enfonce la plus grande profondeur convenable de sa tige.

Aéromètre. — Celui de M. *de Parcieux* n'est au fait hydromètre rendu d'une sensibilité extrême par la délicatesse de sa tige (*fig.* 225). C B est une fiole e en partie de plomb en grenailles, de manière à se nir facilement *debout*, parce que son centre de gravité -dessous de son métacentre (art. 295). bouchon de la fiole est fixé un fil métallique très-délié, d'environ 1/12 *d'inch* (2 millim.) de diamètre, et *inches* (76 centim.) de longueur, portant à son extré- upérieure une coupelle A. La charge est ajustée de re que l'instrument plongé dans l'eau d'une tempé- moyenne, s'immerge jusqu'au point du fil servant de environ 1 *inch* (25 millim.) au-dessus de B. Placé n fluide plus léger, il continue à plonger, jusqu'à ce mmersion additionnelle de la tige produise un dépla- t additionnel du fluide, et qu'enfin tout le poids du déplacé soit égal au poids de l'instrument. Il est clair us la tige est mince, plus est grande la profondeur nnelle à laquelle l'instrument doit plonger pour pro- ce déplacement du fluide. Une échelle est placée sur ; et la division sur l'échelle, correspondante au bord coupelle, ou bien au sommet de la tige, donne, au des tables, la pesanteur spécifique correspondante. instrument a été inventé pour comparer les pesan- pécifiques de différentes eaux. Telle est sa sensibilité, variation de densité produite par un rayon solaire sur à la température moyenne, suffit pour l'enfoncer de es centimètres, et pour que la moindre addition d'une ice soluble dans l'eau s'y manifeste visiblement. oupelle sert à surcharger cet aéromètre, de manière

grain (0 milligr., 041) de plus ou de
supérieure fait baisser ou élever la mar
surface de l'eau, d'un dixième d'*inch* (
coïncidence de K avec la surface de l
exactement à une moindre fraction que
l'exactitude que l'on peut atteindre avec
telle, que les pesanteurs spécifiques ain
les précautions convenables, peuvent
cent-millième près, ou avec cinq dé
ficile de reculer davantage les limit
sible.

C'est d'après le même principe, qu'
santeurs spécifiques des métaux, on peu
purs ou alliés; qu'on peut aussi recon
sont adultérés, et dans ce cas fixer le
tion.

C'est à cet usage que l'hydromètre
bituellement. Toutes les variétés de sp
langes d'alcool pur et d'autres ingrédie
est l'eau. Leur valeur dépend, presque
tité d'alcool qu'ils contiennent. C'est d
plus haute importance pour le commer
tion des droits, qu'il y ait un mode faci
et l'hydromètre de *Sike* a été construit

310. L'exemple suivant, cité par M.

sément celle de l'instrument que nous venons de dé-

(*fig.* 226) est un ballon creux, à l'extrémité de l'un des
ètres duquel est fixé un fil métallique très-mince B C,
iron 1/14 *inch* (moins de 2 millim.). A l'autre extré-
du même diamètre est fixé un étrier DF portant un
e pesant de bronze F. Le fil C B porte aussi à son som-
me légère coupelle B. Le poids du disque F est calculé
maintenir la stabilité de l'instrument et pour qu'il s'im-
e jusqu'au point K, marqué vers le milieu de sa tige,
l'instrument est placé dans l'eau distillée à la tempé-
e de 60° *Fahrenheit* (15°, 56 centig.), et chargée d'un
de 1000 *grains* (64 gr., 75) dans sa coupe B.
ur déterminer la pesanteur spécifique d'un solide avec
romètre de *Nicholson*, supposons qu'on ait reconnu
flotte dans l'eau distillée à la température de 60° *farh.*
, 56 centigr.). Plaçons le solide sur la coupelle supé-
, et chargeons-le d'assez de poids pour que l'instrument
erge jusqu'au point de division K. Ces poids ajoutés
i du solide seront donc égaux à 1000 *grains* (64 gr.
car 1000 *grains* (64 gr., 75) suffisent pour que l'in-
ent s'immerge jusqu'en K; le poids du solide et les
de surcharge, avec celui de l'instrument, l'ont fait
er ainsi jusqu'en K; la somme des premiers est donc égale
omme des seconds; et soustrayant le poids de l'instru-
de chacune, il s'ensuit que le poids du solide et le
de surcharge font ensemble 1000 *grains* (64 gr., 75).
'ensuit dès-lors aussi que le poids du solide est 1000
s (64 gr., 75) diminués des poids de surcharge. On a
le poids exact du solide, en retranchant de 1000 *grains*
r., 75) les poids de surcharge ajoutés en B pour faire
rger l'instrument jusqu'en K.
intenant plaçons le solide dans le disque inférieur; et
s encore immerger l'instrument jusqu'en K par des
de surcharge dans le disque supérieur. Cette sur-
e ajoutée au poids, ou à la pression vers le haut
olide dans l'eau, sera de même égale à 1000 *grains*
gr., 75). Donc en diminuant ces 64 gr., 75 des poids
surcharge mise dans le disque supérieur, on aura le
du solide dans l'eau. La différence entre son poids dans
et son poids effectif, sera le poids de l'eau qu'il déplace;

Alcool pur.	
— très-rectifié.	
— du commerce.	
Alun.	
Ambre.	de 1,06[illegible]
Ambre gris.	de 1,78[illegible]
Améthyste ordinaire.	
— Orientale.	
Amianthe.	de 1,00[illegible]
Ammoniaque liquide.	
Ardoise (à dessiner).	
Arragonite.	
Barite. — Sulfate.	4,00[illegible]
— Carbonate.	4,10[illegible]
Basalte.	2,42[illegible]
Beurre.	
Béril oriental.	
— occidental.	
Bois. — Acajou.	
— Brésil rouge.	
— Buis de France.	
— Buis d'Allemagne.	
— Campêche.	
— Cèdre sauvage.	
— — de Palestine.	
— — Indien.	
— — Américain.	
— Cerisier.	
— Citronnier.	
— Chêne dur de 60 ans.	
— Cocotier.	
— Cognassier.	
— Coudrier.	
— Cyprès espagnol.	
— Ebène d'Amérique.	
— — d'Inde.	
— Epine mâle.	
— — femelle.	
— Erable.	
— Frêne.	
— Gaïac.	
— [illegible]rier.	

— Grenadier.	1,354
Hêtre.	0,852
If d'Allemagne.	0,788
If, nœud de 16 ans.	1,760
— d'Espagne.	0,807
Jasmin d'Espagne.	0,770
Laurier.	0,822
Lentisque.	0,849
Liége.	0,240
Limon.	0,705
Mûrier d'Espagne.	0,897
Néflier.	0,944
Noyer.	0,681
Olivier.	0,927
Oranger.	0,705
Orme.	0,671
Peuplier.	0,583
— blanc espagnol.	0,529
Pommier.	0,793
— Sauvageon.	0,765
Poirier.	0,166
Prunier.	0,785
Saule.	0,585
Sureau.	0,695
Sussafras.	0,428
Tilleul.	0,604
Vigne.	1,327
.	1,714
hre.	0,988
-chouc.	0,933
loine ordinaire.	2,600 à 2,650
line tachetée.	2,613
olite.	3,400
ons (houille).	1,020 à 1,300
·e d'Almaden.	6,902
'abeilles.	0,964
blanche.	0,968
à frotter.	0,897
de poisson.	1,111
,	1,045

Corail rouge.	2,680 à 2,8
— blanc.	2,540 à 2,5
Corindon.	3,7
Craie.	2,252 à 2,6
Cristallin de l'œil.	1,0
Cuir.	1,0
Diamant oriental incolore.	3,5
— Variétés colorées.	3,523 à 3,5
— du Brésil.	3,4
— Brésil, variétés colorées.	3,518 à 3,5
Dolomie.	2,540 à 2,5
Écaille.	2,929 à 3,0
— d'huître.	2,
Eau distillée.	1,
— de mer.	1,
— de la mer morte.	1,
Émeraude.	2,600 à 2,
Esprit épreuvé (alcool faible).	0,
Éther acétique.	0,
— Muriatique (hydrochl.)	0,
— Nitrique.	0,
— Sulfurique.	0,632 à 0,7
Euclase.	2,900 à 3,3
Feldspath.	2,438 à 2,7
Flux noir.	2,
Gamboge (gomme).	1,
Gaz. — Air atmosphérique.	1,0
— Ammoniac.	0,
— Acide carbonique.	1,
— Chlore.	2,
— Chloro-carbonneux (acide).	3,
— Chloro-prussique (acide).	2,
— Cyanogène.	1,
— Euchlorine.	2,
— Fluoborique (acide).	2,
— Fluosilicique (acide).	3,
— Hydriodique (acide).	4,
— Hydrogène.	0,
— Hydrogène carboné.	0,
— Hydrochlorique (acide).	1,
— Nitrique (acide).	1,

— Nitrogène (azote).	0,972
Nitreux (oxide).	1,527
Oxide carbonique.	1,527
Oxigène.	1,111
Phosphoré (hydrogène).	0,902
Prussique (acide).	0,937
Sous-carboné (hydrogène).	0,555
Sous-phosphoré (hydrogène).	0,972
Sulfuré (hydrogène).	1,180
Sulfureux (acide).	2,221
e de bœuf.	0,923
de cochon.	0,936
de mouton.	0,923
de veau.	0,934
te.	2,613 à 2,956
t précieux.	4,000 à 2,230
commun.	3,576 à 3,700
ne arabique.	1,452
du cerisier.	1,480
compact.	1,872 à 2,288
cristallisé.	2,311 à 3,000
trope ou sanguine.	2,629 à 2,700
blende ordinaire.	3,250 à 3,850
— Basaltique.	3,160 à 3,333
stone (pierre cornée).	2,533 à 2,810
s *essentielles*. — d'Ambre.	0,868
— d'Anis.	0,986
— Absinthe.	0,907
— de cassis.	0,904
— Cinnamome.	1,043
— Fenouil.	0,929
— Girofle.	1,036
— Lavande.	0,894
— Menthe commune.	0,898
— Térébenthine.	0,870
s *exprimées*. — Amandes douces.	0,932
— Baleine.	0,923
— Chenevis.	0,926
— Lin.	0,940
— Noisette.	0,916
— Noix.	0,923 à 0,947

Huiles exprimées. —	Olives.	
—	Poisson.	
—	Pavot.	
—	Rabette.	
Hyacinthe.		4,00[illegible]
Indigo.		
Ivoire.		
Jais.		2,35[illegible]
Jaspe.		
Lait.		
Lard.		
Lazulite (outremer).		
Magnésie-native (hydrol.)		
—	Carbonate.	2,2[illegible]
Malachite compacte.		3,5[illegible]
Marbre de Carrare.		
—	blanc italien.	
—	blanc veiné.	
—	de Paros.	
Mastic (résine).		
Mélanite ou grenat noir.		3,6[illegible]
Mellite.		1,5[illegible]
Métaux. —	Antimoine.	
—	Acier doux.	
—	— recuit.	
—	— trempé dur.	
—	— trempé et recuit.	
—	Argent.	
—	— martelé.	
—	— d'imit.	5,[illegible]
—	Bismuth.	7[illegible]
—	Bronze.	
—	Cadmium.	
—	Chrome.	
—	Cobalt.	
—	Colombium.	
—	Cuivre.	
—	Etain cornouailles.	
—	— recuit.	
—	Fer fondu à canon.	
—	En barre, trempé ou non.	

— Iridium martelé.	23,00
Manganèse.	8,000
Mercure solide (19° 44 au-dessous de zéro centigrade).	15,61
— Au zéro centigrade.	13,61
— À 15° centigrades.	13,58
— Au-dessous de 100° centigrades.	13,37
Molybdène.	8,600
Nickel fondu.	8,279
— forgé.	8,666
Or fondu.	19,25
Or martelé.	19,35
Osmium et rhodium (alliage).	19,50
Palladium.	11,80
Platine.	21,47
Plomb.	11,35
Potassium (15° centigrades).	0,865
Rhodium.	10,65
Sélénium.	4,300
Sodium (15° centigrades).	0,972
Tellure.	5,700 à 6,115
Tungstène.	17,40
Urane.	9,000
Zinc.	6,900 à 7,191
	2,650 à 2,934
	1,450
résine).	1,360
	2,340
	0,700 à 0,847
	1,900
ne.	2,348 à 2,370
écieuse.	2,414
mmune.	1,958 à 2,114
	1,336
it.	3,048 à 3,500
r.	2,360
entale.	2,510 à 2,750
de vache.	1,019
néphritique.	2,894
chaux compacte.	2,386 à 3,000
ponce.	0,752 à 0,914

Pierre de Bristol.	2,510 à
— des couteliers.	
— de meule.	
— dure.	
— Pavé.	2,415 à
— Portland.	
— Rotten.	
Phosphore.	
Plombagine (graphite).	1,987 à
Plomb (galène de derbyshire).	6,565 à
Poix minérale (asphalte).	1,905 à
Poix sèche.	1,970 à
Poix (en charbon).	0,600 à
Porcelaine (Chine).	
— (Sèvres).	
Porphyre.	2,452 à
— Seltzer.	
Poudre à canon — verte (molle).	
— grainée humide.	
— sèche.	
Quartz.	2,624 à
Quinquina.	
Réalgar.	3,225 à
Roche (cristal de).	2,581 à
Rubis oriental.	
Sang humain.	
— Caillot.	
— Serum.	
— Dragon (résine).	
Saphir orientale.	4,000 à
Sardoine.	2,602 à
Scammonée de Smyrne.	
— d'Alep.	
Sel gemme.	
Serpentine.	2,264 à
Smalt.	
Soufre natif.	
— fondu.	
	3,094
...ne.	2,620
...ire de Castleton.	

	0,943
u triphane.	3,000 à 3,216
	2,323 à 2,546
	2,400 à 2,665
	2,140 à 2,500
rbonate.	3,658 à 3,675
ulfate.	3,583 à 3,958
	1,606
	0,941
	0,770
	2,080 à 3,000
	4,010 à 4,061
	5,086 à 3,562
	2,500 à 3,010
	2,190
ı.	0,481
	2,520
	2,642
	2,760 à 3,000
	2,942
	3,300 à 3,575
	1,013 à 1,080
eaux.	0,993
ne.	0,991
gne blanc.	0,997
ce.	1,081
	1,022
	0,997
ous espèce de).	2,045 à 2,675
	2,073 à 2,718
	4,385 à 4,700

[illegible]

[illegible]

[illegible]

ιu dans l'intérieur et l'air extérieur forment différentes s d'un fluide continu.

ι-lors, et d'après ce que nous avons dit précédemment, ssion de ce fluide horizontalement, sur une partie quele de la cavité du coffre, à partir du *dedans*, doit être ément égale à celle sur une partie correspondante de face convexe des côtés, à partir du *dehors;* ces deux s correspondantes forment, de fait, les *côtés opposés* orps immergé dans un fluide. Ainsi la pression de l'air eurement sur les côtés, est toujours supportée par une on correspondante de *l'air* en dedans; et aucune presi'est ressentie tendant à altérer la forme de la cavité fre.

'ailleurs nous exhalons une partie d'air hors du coffre, avons immédiatement la sensation d'une *diminution* pression intérieure vers le dehors et d'un *excès* de la on extérieure; le coffre devient oppressé; et par un isme spécial, que la nature a disposé à cet effet, ses sions se contractent jusqu'à ce que l'air contenu soit de au suffisant pour fournir la pression nécessaire à partir lans.

ιt par des raisons semblables à celles ci-dessus, que ngeurs, quand ils vont à une grande profondeur, éprouune forte pression sur les côtés; la pression extérieure coffre étant accrue par le grand poids de l'eau, qui lui céder la pression interne opposée de l'air contenu.

parties du corps qui ne communiquent pas avec l'air ur, et n'en sont pas remplies, sont toutes, quelle que ur nature, complètement saturées et imprégnées de . Les os sont poreux, et les pores en sont partout s par certaines sécrétions fluides; la partie muscuu corps, ou la chair, est partout saturée par le sang; fs et les veines sont des tubes qui servent de canaux onduits à un fluide.

voit donc que la masse du corps humain peut être con comme une accumulation d'atomes solides, chacun gé séparément dans un fluide. Ceci étant, il s'ensuit pression sur une partie quelconque de la surface exdu corps est propagée également dans toute la sub- (art. 243) par l'intervention des fluides qui la baiet chaque particule solide supporte ainsi des pres-

pounds (13598 kilog.) pour chaque in
humaine, ne passe sur aucune des partie
parties l'une contre l'autre, et ne produis
aucun excitement sur nos nerfs, n'est pa

Nous voyons aussi pour quelle raison
à une grande profondeur dans l'eau (pa
cloche à plongeur ou autrement), supp
extérieure devenue beaucoup plus grand
atmosphérique; cependant comme cette
bue également sur toute la surface du
milieu fluide dans lequel il est plongé,
la *transmission* de cette pression est
système par l'intervention du fluide que l
et qui le pénètrent; il n'en résulte aucune p
ces nerfs délicats qui s'entrelacent partou
pente, et que la moindre pression *inégale*

Si l'énorme pression de l'atmosphère é
corps autrement que par l'intervention
quel nous respirons, il deviendrait abso
que les mouvemens des parties du corps
vie, pussent avoir lieu; le mécanisme le
plus fragile de ses organes ne pouvant r
truit. Mais par cette admirable propriété
égale de la pression fluide, non seulem

ıs de nerfs qui sont sur le corps, soit excité
ensible à raison de cette pression. Ces nerfs
l'une telle sensibilité qu'ils nous permet-
·, d'apprécier, de mesurer et de comparer
sion (alors inégale) qui tend à altérer la
'ace du corps. Le coffre même, dans ces cir-
ouffre aucune oppression, car la pression de
ımise par l'intermédiaire de l'air, dans la
ır, également pour les surfaces internes et
e, ces pressions internes et externes se neu-
:e considérable que soit le poids de l'eau en

effets qui résultent de l'immersion du corps
et de ce que ses parties sont *empaquetées*
pour nous servir de l'expression de *Paley*.
donc pleinement comment l'air *peut être*,
réellement, un *fluide* ayant du poids, et
ent sur nous, sans que nous nous ressen-
ssion.

s d'ailleurs aisément soumettre la question
'expérience. Détruisons l'égalité de la pres-
ique dont nous venons de parler; éloignons
ie quelconque du corps; nous éprouverons
le des pressions sur les autres parties et des
s qui proviennent de notre immersion en-
dans l'air. On peut enlever l'air de diffé-
; il y a une machine nommée pompe à air,
e ordinairement et spécialement à cet usage,
pliquerons en détails, par la suite, l'action
de construction. A l'aide de cette machine,
enlevé d'une partie quelconque du corps; sa
reste s'aperçoit alors. Si, par exemple, la
quée de manière à couvrir l'ouverture au
vase dont la partie inférieure communique
à air; et si l'on met la pompe en action, de
ver l'air du vaisseau, et par conséquent de
ace de la main, la pression de l'air sur la
ıain se fera très-bien sentir alors; la main
pressée contre les bords du vase, et enfin il
ossible de l'ôter; les vaisseaux sanguins se-
le dos de la main se courbera en dedans, et

l'opération peut continuer jusqu'à ce que la pression produite soit égale au poids d'une colonne de 30 *inches* (76 centimètres), poids qui suffirait probablement pour la rupture du mécanisme de la main.

Le procédé des ventouses est un exemple de cet éloignement partiel de pression de la surface d'un corps. On met un peu d'alcool dans le vase à ventouser et on l'enflamme par la chaleur ainsi produite, l'air qui remplissait le vase est en grande partie chassé, et sa place est prise par la vapeur bien plus légère d'alcool. Dans cet état, on applique l'ouverture du vase sur la peau; la flamme s'éteint, la vapeur se condense en un liquide, l'air perd sa chaleur et avec cette chaleur sa tendance à s'étendre; alors sa pression sur la surface du corps que recouvre le vase, devient moindre qu'avant et moindre que la pression sur les autres parties du corps; le résultat de cette pression inégale est la désorganisation immédiate de la surface sous le vase; la chair et les parties musculaires s'enflent d'une manière étonnante, les vaisseaux se distendent, et le sang enfin sort des pores de la peau.

La succion présente un autre exemple frappant d'éloignement partiel de pression. Il y a une certaine opération des muscles, par laquelle l'air peut être épuisé de la cavité de la bouche; si cet épuisement a lieu quand les lèvres sont appliquées à quelque partie de la peau, le résultat est un éloignement de la pression de cette partie de la surface du corps, et par suite un déplacement de la peau en dessous; la surface extérieure des lèvres supportant la pression atmosphérique, tandis que la portion intérieure en contact avec la peau en est débarrassée, cette partie externe des lèvres et la peau se trouvent en contact immédiat et pressées fortement.

C'est ainsi que les limaçons s'attachent aux murs, troncs et aux branches des arbres, et qu'on les voit traîner le corps en arrière et suspendu. La partie inférieure de leur corps est garnie de muscles puissans, qui les rendent capables de former un espace creux ou cavité dans certaine partie de sa longueur. Leur mode de se fixer à quelque surface est d'élever leur corps dans cette cavité en produisant un vide en dessous de cette cavité dont les bords

iquement pressés sur la surface, et tout le corps y est u par la pression atmosphérique extérieure. En atta- cette manière diverses parties de leur corps, successi- à diverses parties de la surface sur laquelle ils désirent 'oir, on les voit marcher suspendus, non-seulement leur corps, mais encore à la coquille qui leur sert tion, perpendiculairement contre les murs et même nd le plus uni d'un appartement. Il y a un jouet , appelé le suceur, qui agit précisément d'après le que nous venons d'expliquer. Il consiste en un peau, très-douce et très-souple, suspendu par son vec une ficelle. S'il est mouillé et appliqué à la d'une pierre, ou de quelque masse unie et pesante, suite on veuille l'enlever en tirant la ficelle, on une grande résistance, et plutôt que de céder, le nlève avec lui la masse sur laquelle il est appliqué, ette masse est très-peu considérable.

ison en est évidente. La ficelle étant tirée, la peau u centre, et la cavité qu'elle forme ainsi devient ir n'y pouvant pénétrer à raison du contact hermé- s bords de la peau unie avec la pierre. Ceci étant, la de l'air est écartée de la partie de la pierre qui la surface de la peau; sa pression sur le côté op- la pierre n'est donc plus soutenue; la pierre est essée contre le cuir par cette force qui n'a plus de oids; la pression de l'atmosphère agit d'ailleurs r la surface *externe* du cuir et *la* presse contre la Le cuir et la pierre se trouvent donc ainsi atta- n à l'autre.

précisément d'après ce principe que les mouches se r les surfaces verticales du verre et sur les plafonds. t à leurs pattes une mécanique qui les rend capa- élever les parties centrales, de même que le centre r est élevé par la ficelle; un vide étant ainsi formé patte, elle se fixe sur la surface sur laquelle elle est e.

On a prouvé que toute substance immergée dans un esant, outre ses pressions *horizontales* qui agissent t en directions opposées, ne produisant pas de ent horizontal, supporte encore certaines pressions s dont les effets ne sont pas ainsi neutralisées, et

qui y produisent un mouvement de tendance vers le haut, égal au poids du fluide qu'il déplace.

Nos corps étant immergés dans l'air supportent, chacun, une pression, vers le haut, égale au poids de l'air qu'il déplace; pourquoi, dès-lors, peut-on dire, ne sentons-nous pas cette pression vers le haut? La réponse est facile : c'est que le poids du corps excède celui de l'air qu'il déplace. La pression vers le bas excède donc celle vers le haut; et par conséquent nous ne nous apercevons que du poids.

Ceci est d'ailleurs vrai, non-seulement pour les pressions vers le haut réunies sur différentes parties du corps, mais encore sur chacune [illegible] Si, par exemple, l'on imagine le corps divisé [illegible] ombre de minces colonnes verticales; alors la [illegible] *le haut* sur cette partie de sa surface qui form[illegible] cune d'elles, sera égale au poids de la colonne [illegible] mes dimensions précisément; la pression vers [illegible] a colonne sera égale à son *poids*, et par conséquent [illegible] la pression vers le haut nous ne sentons ainsi auc[illegible] sion vers le haut sur la surface dont nous parlons; [illegible] est de même pour chaque partie de la surface du corps.

On a vu aussi que lorsqu'un corps est *entièrement* immergé, la résultante des pressions du fluide sur lui passe nécessairement par son *centre de gravité* et agit dans une direction verticale; la résultante des poids des parties agissant aussi *là*, *excède* sa résultante *vers le haut;* nous sentons donc l'existence de la dernière pression. Il n'en serait cert[illegible] pas ainsi, si sa direction n'était pas toujours par le centre [illegible] gravité de notre corps; elle serait certaine, et il y aura[illegible] certaines positions d'équilibre seulement, comme dans le c[illegible] des corps flottans; et nos corps ne pourraient prendre d'autres positions que celles-là, sans une certaine dépense d'énergie musculaire. Quand nous inclinons le corps, par exemple, la pression de l'air, vers le haut, tendrait à ramener [illegible] dos dans sa première position, ou bien à l'en éloigner davantage; et ce serait pour nous une source de continu[illegible] ennui.

314. Si nous pouvions, par quelque moyen, alléger la substance de nos corps, de manière à la rendre plus légère que l'air qu'elle déplace, nous nous éleverions de suite dans l'air et nous y flotterions. C'est ce qui a lieu en grande par[illegible]

tie pour les oiseaux; leurs corps sont excessivement lég[e]
probablement très-peu plus pesans que l'air qu'ils dép[la]
cent, et ils ont aussi probablement le pouvoir de les ren[dre]
encore plus légers en distendant la cavité du coffre, ou
quelques autres parties creuses, sans que l'air extérieur
puisse introduire en même temps (1).

Les oiseaux sont, sous ce rapport, presque de la mê[me]
manière dans l'air que les poissons sont dans l'eau. N[ous]
avons vu que ces derniers ont le pouvoir d'étendre certai[nes]
parties de leurs corps de manière à ce que la quantité d'[eau]
qu'ils déplacent, excède les poids de la quantité du fluide [dé]
placé, ou soit moindre, suivant qu'ils veulent s'élever à [la]
surface ou plonger plus profondément. Quelques-uns semb[lent]
avoir le pouvoir de porter cette expansion encore plus l[oin]
et de passer de l'eau dans l'air, en déplaçant une quantité d[']
qui pèse moins ou presqu'autant que leur corps; ce sont [les]
poissons volans. Il y a, de même, certains oiseaux qui p[eu]
vent contracter assez leurs dimensions pour plonger dans l'[eau]
à toutes profondeurs.

On peut aisément construire des corps plus légers [que]
l'air qu'ils déplacent; sa pression vers le haut sur de s[em]
blables corps excède leur poids, et le corps monte.

C'est ainsi que sont faits les ballons. Certains flu[ides]
peuvent être artificiellement produits qui sont beaucoup [plus]
légers que l'air qu'ils déplacent. Ces fluides sont de l'es[pèce]
appelée élastique ou gaz, dont nous parlerons ailleurs d'[une]
manière plus détaillée. Si un vaisseau léger, capable de c[on]
tenir l'un de ces fluides — comme par exemple un sac [de]
papier de soie ou d'étoffe légère — est rempli de ce fluid[e et]
abandonné à lui-même, il commencera de suite à mon[ter,]
pourvu que le poids du vaisseau ne soit pas tel qu'e[n y]
ajoutant celui du fluide contenu, il égale ou il excède le p[oids]
de l'air qu'il déplace.

On peut obtenir des fluides plus légers que l'air d'[une]
foule de substances diverses et d'une foule de moyens d[iffé]
rens. Le gaz de l'éclairage des rues est un fluide de c[ette]
espèce, et de grands sacs de soie remplis de ce gaz dépla[cent]
une quantité d'air dont le poids est plus grand que le l[eur.]

[1] Autrement cette admission d'air accroîtrait le poids précisé[ment] de la même quantité que l'air extérieur s'accroîtrait.

Il suffit pour cela de le chauffer. Tous les c
accroissent leurs dimensions par l'applicat
(ainsi que nous l'expliquerons dans une a
ouvrage), et de tous les corps l'air est pr
qui se montre le plus aisément expansif, o
aux variations de la chaleur. Si donc nous
tion de l'air qui nous environne, qui es
même nature que le reste, et qui déplace
air *égale* à son propre poids; que nous re
pansif par l'application de la chaleur, ou
grand espace, alors il déplacera une portion
nant *plus grande* que lui-même en volum
comme nous l'avons expliqué, l'*ascension*
Cette expansion de certaines parties de l'air
s'ensuit à travers l'air environnant, est un
pouvons continuellement observer autour
qui monte dans les cheminées est un air r
leur du feu et entraînant avec lui quelqu
de charbon non consumé. L'opération a li
une échelle bien autrement magnifique
soleil. Dans les tropiques, où cette infl
grande, l'air est continuellement raréfié et
léger que celui qui l'environne; il est donc
continuellement par la pression de cet ai
continuellement dans l'espace qu'il vient

[redacted]

blables effets produits à la surface de la terre par ons locales de température constituent les vents. averse soudaine de pluie ou de neige, en quel- particulier, peut assez y accroître le poids de le rendre plus pesant que l'air environnant; il en les vents hauts, ayant sur la *surface* de la terre *ion* à partir de l'endroit où la condensation a eu

ous avons vu que l'air qui nous environne peut être esant exerçant une grande pression sur les surfaces os; suivi de tous les phénomènes particuliers à ceux cas de pression fluide, sans que cependant nous cette pression. Nous vivons au sein d'un océan e, comme nous voyons le poisson vivre dans la cevant, à chaque instant, de grandes quantités dans et les exhalant, comme nous voyons le courant er à travers les ouies des poissons; et cependant rcevons que quelques-unes de ses propriétés, et à e sommes-nous sûrs de son existence. Aussi bien, ont raisonné pendant deux mille ans au sujet de re, avant d'avoir découvert que c'était *un fluide* et qu'il avait du poids. On s'explique cela facile- la raison qu'il n'y a pas d'observations *directes* sent à la conclusion du poids de l'air. Il n'y a réelle- peu de chose, ou rien, dans les phénomènes qui cette conclusion, en nous y guidant par la con- es phénomènes avec le poids de l'air. Il y a un chaî- anque, et la théorie de la pression hydrostatique chaînon. Ainsi un homme ignorant des principes statique ne peut apercevoir aucune relation entre de l'eau dans un tube par la succion et le poids térieur. Mais qu'il acquère la connaissance du prin- *fluide pesant ne peut rester en repos qu'autant sion* sur chaque point *dans le même plan* horizon- *même*, et cette connexion s'établira de suite dans

e fut en vain que des savans s'efforcèrent, pendant 000 ans, de se rendre compte de l'ascension des la succion, jusqu'à ce que, désespérant de la solu- prononcèrent que c'était une *anomalie* — un écart re, une antipathie inconcevable; enfin que la nature

avait *horreur du vide*. Ils affirmaient, par exemple, que lorsque l'air était enlevé d'un tube, et que l'une de ses extrémités plongeait dans l'eau, la nature, *ayant horreur du vide*, forçait de suite l'eau à monter dans l'espace libre et à le remplir; et cela, disaient-ils, malgré la tendance qu'a l'eau à retomber à raison de son propre poids.

Comme il arriva à des fontainiers de Florence de découvrir que l'eau ne s'élevait pas dans une pompe, où l'on faisait le vide tant qu'on voulait, au-dessus de trente-deux *feet* (9 m. 753472), ce principe de *l'horreur* du vide qu'avait la nature se trouva limité, et, suivant *Galilée*, la nature n'eut horreur du vide que jusqu'à 32 *feet* (9 m. 75).

316. *Toricelli*, disciple de *Galilée*, ayant des doutes sur l'explication de son maître, raisonna sur la question à peu-près de cette manière : Puisque, par l'enlèvement de l'air au-dessus, une colonne d'eau peut être supportée à la hauteur de 32 *feet* (9 m. 75), et pas plus haut, il semble que cette force qui la soustrait à cette hauteur, quelle qu'elle soit, sera précisément égale au poids d'une telle colonne; par conséquent cette force n'eût probablement pas supporté une aussi haute colonne si elle eût été de quelqu'autre liquide plus pesant que l'eau; en sorte que dans ce cas l'horreur de la nature pour le vide ne se fût pas même étendue jusqu'à trente-deux *feet* (9 m., 75). Il essaya avec du mercure, et il trouva que malgré qu'il eût fait un vide absolu au-dessus de sa surface, le mercure ne pouvait monter au-dessus de 29 à 30 *inches* (76 centimètres au plus). Il s'assura que cette colonne de mercure était précisément égale en poids à celle de même diamètre de trente-deux *feet* (9, 75) d'eau.

Il vit dès-lors que la cause, quelle qu'elle fût, était sujette à cette loi, qu'elle développait toujours une force égale au poids du liquide soulevé, quel que fût ce liquide. Cette horreur de la nature pour le vide n'était donc pas un écart, mais comme le développement de son énergie dans la matière inorganique, une loi fixe et invariable. Raisonnant ensuite sur cette expérience et venant à lui appliquer certains principes d'hy[illegible]ique, qui dans ce temps étaient connus, il entrevit la [illegible]exion entre la pression extérieure et le poids de [illegible] et parvint à sa véritable explication, qui le [illegible] *baromètre*, instrument qui nous mit à même [illegible] tout temps, la pression exacte de l'atmosphère.

nnée, en un lieu quelconque où s'en fait
nous le considérions sous le rapport de
e la précision de ses indications, ou sous
té remarquable de sa constrution, nous
ranger parmi nos instrumens les plus

nstruction du baromètre : un tube B H
plus de trente *inches* (plus de 76 cen-
par l'une de ses extrémités, est rempli
pliquant le doigt à l'ouverture, on em-
s'échapper, et on renverse alors le tube
rcure C D, en plongeant l'ouverture au-
cé; on retire le doigt alors, et il s'établit
:ation entre le mercure du tube et celui
it celui du tube descendre jusqu'à ce qu'il
d'équilibre entre 28 et 30 *inches* (de 70
au-dessus du mercure de la cuvette.
itenant les circonstances dans lesquelles

54) que c'est une condition nécessaire de
le continu, que la pression sur chaque aire
ne *plan horizontal*, quelque part que cet
, soit *la même*. Alors, prenant le plan hori-
e par l'extrémité inférieure B du tube, il
sion sur chaque partie égale de ce plan est
il s'ensuit que la pression sur cette aire,
n de plan qui se trouve immédiatement
ibe, est la même que la pression sur une
part qu'elle soit. Les pressions sur ces
'ement égales au poids des colonnes des
ivent contenues, en les continuant verti-
aut, à partir de ces aires respectivement,
irfaces de ces fluides (art. 255). Or l'es-
e, la libre surface du fluide dans le tube
dehors du tube, pour arriver à la libre
il faut continuer la colonne, à travers le
. extrêmes limites de l'atmosphère.
que la colonne B G dans le tube est égale
e colonne en dehors, ayant une base égale
horizontal F E, et atteignant à travers le
sommet de l'atmosphère. Cette dernière

jusqu'à la surface réelle de l'atmosphè
simple instrument qui n'a que 76 cen
on mesure le poids précis d'une colon
gnant sa surface à une distance qui n'
de 50 à 60 *milles* (81 à 97 kilomètre

Ce fut ainsi que *Toricelli* expliqua
cure dans son tube; il confirma la
était arrivé, en faisant porter son ba
élévation au-dessus de la surface de
Puy-de-Dôme en Auvergne; on trou
abaissait bien au-dessous du niveau
plaine. C'était une conséquence néce
car en portant l'instrument au somm
hauteur de la colonne était sensiblem
que la colonne de mercure soulevé ne
en repos tant qu'elle n'avait pas le mê
colonne d'atmosphère, elle devait desc
puisque la colonne d'atmosphère avai

Ainsi, au sommet du Mont-St-Berna

(1) Si chaque partie égale de la colonne atm
poids, quelle que fût la fraction dans son asc
diminuât la hauteur de cette partie de la c
de lui; la même fraction seule lui donnerait
colonne de mercure de son baromètre devrai
posant la hauteur de l'atmosphère de 50

'à 14 *inches* (35 centim.), tandis qu'au niveau de la est ordinairement de 28 *inches* (70 centim.) de r.

Le baromètre a, depuis, été appliqué, d'après ce e, à la détermination des hauteurs des montagnes. s méthodes que nous expliquerons ailleurs, l'élévation au-dessus de la surface de la terre, correspondante ne hauteur de la colonne de mercure dans le tube, peut lculée. Ainsi, en emportant avec soi un baromètre au d'une montagne, et observant la hauteur à laquelle ure s'y maintient, on peut savoir, après avoir fait les convenables, quelle est exactement la hauteur de la me. On a donné des formules et construit des tables litent beaucoup ce calcul.

étermination des hauteurs par le baromètre est certai- le mode le plus simple et le plus facile connu; peut- est-ce le plus exact.

d'ailleurs, prendre de nombreuses précautions tenir cette exactitude. D'abord il faut déterminer précise de la colonne au-dessus de la surface du dans la cuvette; ce qui n'est pas facile. Il est clair échelle de division, placée comme elle l'est ordinai- à côté du tube, et comptée de la surface du fluide cuvette *vers le haut*, ne servirait pas à mesurer cet actement; car la surface du mercure dans la cuvette continuellement de position, suivant qu'il s'en élève moins dans le tube. Si donc, à une certaine hau- e la colonne, le zéro, ou la première division de l'é- , coïncide avec la surface du mercure dans la cu- il peut n'en être pas ainsi pour une autre hau-

euses méthodes ont été inventées pour remédier à cet énient. La suivante est probablement l'une des meil- . La cuvette de mercure est construite avec soin de cylindrique (*fig.* 227); son fond qui est tourné pour rem- actement la surface du cylindre, l'est de manière à ce mouvement très-lent puisse lui être communiqué par une rappel, élevant ou abaissant la masse de mercure qui ve au-dessus de lui dans la cuvette. Il y a un index e, tourné en pointe fine vers le bas, qui est fixé pré- nt au niveau de la première division de l'échelle. Quand

l'instrument, on tourne la vis de rap-
… la surface du mercure dans la cuvette
…qu'à la pointe d'ivoire. Ceci fait, la
…échelle est exactement celle du sommet
…ssus de la surface du mercure de la

…nt la hauteur du mercure dans le baro-
…n le *transporte* à diverses hauteurs au-
…e la terre, mais aussi quand on le laisse
…ar il est à peine deux instans de suite
…xactement. Cela a lieu non-seulement
…ouvement, mais aussi quand il semble
…s du baromètre, dans ces circonstances,
…ifférentes heures du jour et en différens
…ar une comparaison faite sur un grand
…s, et avec beaucoup de soin à l'obser-
…ris, M. *Bouvard* a présenté les conclu-
…ntes.

…ur en deux périodes, dont la première
…matin à 3 h. après-midi, et la seconde
… 9 h. du soir; on trouvera que le baro-
… ces deux périodes; mais que la quantité
…t la *première* période est beaucoup plus
… il baisse pendant la *seconde*. Par rap-
…riode, il y a une régularité considérable
…u baromètre, aussi bien d'une année à
…is à un autre. Par un relevé de onze ans,
…se moyenne du baromètre entre 9 h. du
…près-midi, soit 0,2976 d'*inches* (7 à 8

…des variations de la *première* période, …
…nné le résultat remarquable que voici:
…s de novembre, décembre et janvier, ces
…oup moindres que pendant les autres mois

…un fond mobile pour la cuvette ne semble pas
…sition qui permet de déplacer une portion de
…égler le niveau. On peut, par exemple, …
…, et la faire *saillir* dans la cuvette, …
…nière à régler le niveau constant du …

ıée; et elles sont beaucoup plus grandes pendant les
e février, mars et avril. Les variations pendant les six
mois de l'année sont intermédiaires, mais ne parais-
ıivre aucune loi.

nt aux variations de la *seconde* période, elles ne pré-
. aucune loi; cependant elles sont ordinairement moi-
indres que celles de la période précédente.

comparaison des variations diurnes du baromètre en
s lieux de la terre, semble montrer qu'elles sont les
en tous lieux entre les tropiques, et que c'est là seu-
qu'elles sont plus grandes; qu'elles diminuent rapi-
: à mesure que la latitude s'accroît, et qu'il n'y en a
s sensibles à 74° nord.
t à regretter qu'aucunes observations n'aient été faites
ırope sur les variations barométriques pendant la

a observé que les variations diurnes du baromètre
jettes à l'influence du vent; qu'elles sont à peine sen-
par les vents du sud, et qu'elles atteignent leur maxi-
ar les vents du nord.

. Le poids de la colonne de mercure soulevée dans le
ant toujours égal à celui d'une colonne d'atmosphère,
uit qu'une variation de la première ne peut avoir lieu
qu'il survient une variation correspondante dans la
te. Ces variations en poids de la colonne atmosphéri-
s un lieu quelconque, sont supposées indiquer des
mens de temps, et on a coutume de les observer avec
la différence entre la moindre et la plus grande hau-
ı mercure dans le baromètre n'excède pas 3 *inches* (76
.). Pour préserver le tube contre tout ce qui pourrait
rter, à l'exception des 76 mill. dans lesquels a lieu la
on, on le renferme dans un tube de cuivre, auquel est
'échelle, dont les divisions n'ont lieu que pour ces
llim. A côté de certaines de ces divisions sont inscrits
ts *beau*, *pluie*, *variable*, etc., spécifiant le temps que
ppose indiqué par les variations correspondantes de la
e de mercure. D'ailleurs ces indications ne reposent
cunes données précises d'expérience, et encore moins
cune théorie fondée en principe. Il n'y a pas de raison
jue les états particuliers de la densité de l'atmosphère

soient nécessairement suivis d'états particuliers du temps
il est certain que lors même qu'il en serait ainsi, les b
mètres tels qu'on les construit maintenant, étant sans au
rapport avec l'élévation des lieux où ils sont placés, do
raient de fausses indications. Ainsi deux baromètres, const
de la même manière, placés l'un au haut de St-Paul et l
tre au niveau de la Tamise, puisqu'ils différeraient pr
de 12 millimètres dans leur hauteur, pourraient l'un êtr
beau, tandis que l'autre serait à la pluie; et cependa
temps serait le même dans les deux lieux d'observa
Les seules indications du baromètre qui puissent être
tives au temps sont ses changemens; et les règles suiv
sont les résultats de l'observation.

1° Le baromètre en *s'élevant* indique l'approche du
temps; en *s'abaissant*, il indique l'approche du ma
temps.

2° En temps chaud, la baisse du baromètre indiq
l'orage; et en hiver son élévation présage la gelée. Pe
la gelée, sa baisse est signe de dégel, et son élévation
de neige.

3° Si le changement du temps suit *soudain* un m
ment du baromètre, on peut s'attendre que cela ne
pas. Ainsi, quand le beau temps survient de suite a
lévation du baromètre, il est de courte durée; de mê
le mauvais temps suit immédiatement la baisse du baro
il ne durera pas.

4° Si le beau temps continue plusieurs jours, penda
quels continue la baisse du thermomètre, une longu
de mauvais temps s'ensuivra probablement; et récip
ment, si le mauvais temps continue, et que le bar
monte constamment, il y a probabilité de plusieurs
jours.

5° Une variation fréquente du baromètre est un in
temps variable.

6° Il est une autre règle fondée sur les principes d
drodynamique, et qui peut dès-lors être près du v
elle n'est pas absolument dans le vrai, et que voici
baisse continue du baromètre indique que les ve
haut règnent, à peu de distance du lieu d'observati

321. Une colonne du mercure ayant un *inch* (25 mill.
et une hauteur de 30 inches (76 centim.), pèse envi

ds (6 kil., 798). Or en supposant que le baromètre reste *inches* (76 centimètres), la pression de l'atmosphère juste suffisante pour supporter une semblable colonne, ra par conséquent égale à son poids. Dans ces circonstan- la pression atmosphérique est juste alors de 15 *pounds* l. 798) pour chaque *inch* (25 mill.) carré de surface. osant donc que la surface d'un homme soit de 2000 *in-* (50 mètres) carrés, il s'ensuit que la pression atmos- ıque sur lui sera du poids énorme de 3000 *pounds* 96 kilogrammes).

2. Il survient, dans l'usage du baromètre, beaucoup de ıltés résultant de l'extrême petitesse des variations dans uteur du mercure correspondant à chaque changement pression atmosphérique.

ıat l'espace dans lequel cette variation a lieu corres- ant aux cas extrêmes de densité et de raréfaction de l'air ırface de la terre, ne comprend que trois *inches* (76 mètres). Il est donc évident que l'infinie variété des intermédiaires, sensiblement différens l'un de l'autre, ıat être indiquée que par de petites fractions d'un *inch* millim.), dans la variation de la hauteur de la colonne ercure.

ıur obvier à cette difficulté, on a inventé diverses for- de baromètre.

3. L'une des plus simples et des plus ingénieuses se ne le *baromètre diagonal*. C'est un simple baromètre le tube est recourbé (*fig.* 228), un peu au-dessous ɔint le plus bas où descend ordinairement le mercure. be étant rempli, comme celui d'un baromètre ordinaire, du mercure dont la surface reste en un point quelconque la partie courbe ABC, chaque variation de densité de osphère se trouvera indiquée par un mouvement beau- plus considérable du mercure dans le tube incliné que tube restait vertical.

ci s'explique aisément. La pression sur la base C de la ne n'est pas égale au poids de toute la colonne courbe , mais à celui qu'aurait la colonne BC prolongée en di- ın verticale jusqu'au niveau PQ de la surface Q. nsi elle est égale au poids de la colonne de mercure qui lirait le tube PC. Si donc la colonne de l'atmosphère ;e quelque chose à son poids, soit d'une quantité égale

[illegible] le niveau du fluide dans l'un des vases soit au-dessus de son niveau dans l'autre.

Un tube courbe AFB (fig. [illegible]) est un syphon. On le remplit [illegible] du fluide, et l'on ferme ensuite ses deux extrémités. L'une d'elles A est alors plongée dans le fluide du vase CR [illegible], et l'autre passe dans IK qui [illegible]. Les deux extrémités du tube étant alors ouvertes, le fluide coule de suite de l'un dans l'autre.

On en comprend [illegible] la raison. La pression du fluide [illegible] sur la section inférieure A, [illegible] est égale au poids d'une colonne AP [illegible] de A à la partie supérieure du tube; la pression du fluide [illegible] en A tendant à la faire couler dans le tube, est égale au poids d'une colonne de la hauteur [illegible]; il s'ensuit donc que, pour le tout, le fluide est pressé en A, en dedans, par le poids de la colonne atmosphérique diminuée du poids de la colonne de fluide CP. On voit de même qu'en B le fluide est pressé dans le tube par le poids de la colonne atmosphérique, diminuée du poids de la colonne de fluide DQ. Alors tant que la colonne DQ est plus grande que la colonne CP, le fluide est pressé dans l'extrémité A du tube avec une force plus grande qu'il n'est pressé dans l'extrémité B. A raison de ces pressions inégales, il doit donc se mouvoir dans le tube, suivant la direction AFB, jusqu'à ce que la surface [illegible] au même niveau que D.

Les pressions en A et en B tendant toutes deux à forcer le fluide dans le tube, maintiennent ses parties ensemble et [illegible] former une colonne continue. Cette continuité se [illegible] d'ailleurs quand la colonne aura plus de 30 inches ([illegible] de hauteur, si le fluide est du mercure, et plus de 33 [illegible] (10 m. 363), si le fluide est de l'eau. Car si CP excède ces limites, dans les circonstances que nous supposons, son poids excédera celui de la colonne d'air atmosphérique; et par conséquent on voit, d'après ce que nous avons dit précédemment, que l'aggrégation de pression sur la section en A ne sera plus *dans*, mais *dehors* du syphon. De plus sa tendance en B sera d'être *hors* du syphon, puisque QB est plus grand que PA. Le fluide tendant alors à couler hors du syphon par ses deux ouvertures, la colonne sera séparée, et le syphon cessera d'agir. Ainsi l'on ne peut faire

moins supportée (art. 283) qu'avant; et puisqu'elle n équilibre par le poids R, dans le cas du support ;t, l'équilibre serà détruit, la balle de fer descendra, :ordon entraînera avec lui la circonférence du cercle dex. Par la distance que donne l'index on peut dé-er la baisse de la surface du mercure.

›osons, par exemple, que la circonférence de la roue Q un *inch* 1/4 (31 millim. 7437); une baisse de la sur-de cette quantité (31 millim.) faisant que le cordon it à cette distance, produira une révolution *complète* cle et de son indicateur. Si donc l'on divise la cir-ınce du cercle extérieur en 300 parties égales, un mou-de l'indicateur d'une quelconque de ces parties dénotera ıvement de la surface de 1/300me d'un *inch* 1/2 (31 ètres), ou de 1/200me d'un *inch* (25 millim.). Mais ce ment de la surface E correspond au double de cette ›n du baromètre, c'est-à-dire qu'elle correspond à une ›n barométrique de 1/100me d'*inch* (0 mill., 25). Cette variation peut donc être aperçue à l'aide du baromètre

Il y a d'ailleurs des causes nombreuses d'erreur in-es par le mécanisme de cet appareil, et l'instrument s d'exactitude qu'un simple baromètre.

ıauteur effective de la colonne KF est influencée par ls de la balle de fer en E. Mais les variations de eur, dans les usages ordinaires de ce baromètre, n'en ıs influencées.

›aromètre à roue est ordinairement connu sous le nom ran du temps. Des positions particulières de l'index upposées liées à des temps particuliers dont les noms ›ondent aux diverses divisions du cercle. Ces indica-lu temps peuvent se ranger avec les pronostics des al-hs. Il n'est rien dans la position de l'indicateur qui ›port au beau et au mauvais temps; et ce sont seule-ıes variations qui peuvent les indiquer.

. Le *Syphon*. — C'est un autre instrument d'une ex-simplicité; son application d'ailleurs n'est pas, comme u baromètre, bornée à des objets scientifiques, mais sages les plus ordinaires de la vie. A l'aide de cet ment, un fluide semble monter de lui-même du vase contient et par-dessus ses bords, puis descendre pour ir un autre vase adjacent. Tout ce qu'il faut pour cela,

CHAPITRE II.

328. Elasticité de l'air prouvée par expérience. — 330. Son élasticité proportionnelle à sa densité. — 331. Le condensateur. — 332. La jauge. — 333. Le fusil à vent. — 334. La pompe d'épuisement. — 337. La pompe à air, machine pneumatique. — 338. Expérience avec la pompe à air. — 342. Pompe aspirante. — 343. Pompe levante. — 344. Pompe foulante. — 347. Pompe à feu.

327. *Elasticité de l'air.* — Les propriétés des fluides dont nous avons parlé jusqu'ici, résultent exclusivement de leur fluidité, et sont, par conséquent, communes à toutes. Les fluides, d'ailleurs, sont de deux espèces; ceux *inélastiques* ou *liquides*, et ceux *élastiques* ou *gaz*. A cette dernière classe appartient l'air atmosphérique; et quoiqu'il partage, ainsi que nous l'avons dit, toutes les propriétés des autres fluides, et que tous les phénomènes qui en résultent leur soient communs, il y a une autre classe de phénomènes résultant de leur fluidité, qui lui sont particuliers et égaux au moins en importance, sinon supérieurs aux premiers.

Tous les phénomènes atmosphériques dont nous nous sommes occupé jusqu'ici, se présentent absolument de la même manière qu'il se présenteraient si l'air qui nous enveloppe était un liquide comme l'eau, au lieu d'être un fluide très-élastique et très-expansif, comme nous le savons. Nous allons examiner maintenant les propriétés qui résultent de son élasticité.

328. Nous pouvons d'abord, par une expérience très-concluante, nous convaincre de l'élasticité de l'air. ABC (fig. 231) est un tube recourbé, à l'extrémité C duquel est fixé un robinet. Ce robinet étant ouvert, une petite quantité de mercure EBE', mise dans le tube, s'établit au même niveau EE' dans les deux branches; la pression atmosphérique en E et E' étant la même; et ces parties d'un fluide duquel des surfaces égales supportent des pressions égales étant dans le même plan horizontal nécessairement (art. 234).

ntenant, que l'on ferme le robinet C. On verra qu'en
ant, quoique la pression de la colonne atmosphérique
le contenue dans la partie EC du tube soit suppri-
cependant la résistance de l'air à la tendance vers le
la surface E (s'élevant hors de la pression atmos-
e sur E') reste sans altération; car E ne change pas.
aurait absolument lieu de la même manière, si le
contenu dans EC était un liquide comme de l'eau,
me un solide; mais que l'on mette plus de mercure
branche AB du tube, et l'on verra la différence entre
cas. Supposons que le mercure ajouté dans le tube
sa surface en D. La pression sur E se sera accrue du
e la colonne DE'. Or si BC eût contenu un liquide,
ression additionnelle, quelque grande qu'elle eût été,
produit aucun mouvement sur la surface E; le liquide
sant toujours une résistance qui s'accroît d'une quan-
cisément égale à celle dont s'accroît la pression. Mais
ntenant de l'air, ne se trouve plus capable de fournir
croissement de résistance, dans l'état actuel; il cède
atement à la pression qui s'est accrue, la surface E
et le fluide en EC se trouve n'avoir pas acquis un
de résistance égal à cette nouvelle exigence, tant que
qu'il occupe ne s'est pas considérablement diminué.
a un rapport remarquable entre ce pouvoir accru de
nce et cete diminution de volume qui le fait acqué-
est que la proportion dans laquelle le volume du fluide
minué est celle précisément dans laquelle le pouvoir de
nce s'est accru. Ainsi quand le volume diminue de
, le pouvoir de résistance est doublé; si le fluide se
cte du tiers, son pouvoir de résistance est triplé, et
de suite.

si, dans notre expérience, si l'on ajoute du mercure
le tube AB, en accroissant par là la pression sur la
e E, on verra que cette surface monte continuelle-
comprimant l'air au-dessus; quand cette compression
continuée jusqu'à ce que l'espace EC soit diminué de
, ou FC, on trouvera que le mercure se maintient à
lle hauteur dans l'autre bras A B, qu'il *double* la pres-
sur la surface E. La surface E se maintient aussi en F.
ide en FC fournit donc une résistance double de sa
ière *résistance; ou bien son pouvoir* de résistance est dou-

[illegible] après celle de la colonne [illegible]
[illegible], en fermant la colonne E' [illegible]
horizontalement, on éprouve la pression [illegible]
[illegible] du tiers de sa [illegible]
[illegible]

Il s'ensuit de-là que le volume [illegible]
[illegible] la mesure [illegible]
[illegible] ; et que ce rapport [illegible]
[illegible] remarquable [illegible]
[illegible] proportion [illegible]
volume.

226. [illegible] la réciproque est [illegible]
[illegible] le volume d'une portion [illegible]
[illegible] que la pression [illegible]
[illegible] la pression [illegible]
[illegible]. Pour le prouver, laissons [illegible]
[illegible] partie du mercure [illegible]
[illegible], renversons-le [illegible]
[illegible] (n° 222). La pression sur E' [illegible]
[illegible], elle diminuera [illegible]
[illegible] la colonne E' C. la pression sur E [illegible]
[illegible] dans une direction [illegible]
[illegible] dans le tube. Que ce E C [illegible]
[illegible] le tube, [illegible]
[illegible] dans le tube [illegible]

›lonne barométrique, montrant que la pression sur F minuée d'un tiers, et ainsi de suite.

it de là, par conséquent, qu'à mesure que l'on dimi- pression sur une masse d'air, cet air augmente de , la diminution de la pression étant exactement pro- ›nelle à l'accroissement de volume.

› force d'expansion de l'air, qui le fait résister à la › qui lui est appliquée, avec les conditions que nous de formuler, s'appelle son *élasticité*.

›, en général, l'élasticité d'une portion d'air s'ac- mesure que son volume est diminué, et réciproque-

La densité de l'air est la quantité d'air contenue dans ›ce donné. Or, à mesure que le volume d'une quan- ›née d'air est *diminué*, la quantité de cet air con- ›ans un espace donné, une centimètre cube par exem- › *augmentée*. Cette diminution et cet accroissement ›ns un rapport *exact*. Il s'ensuit dès-lors que l'élas- › l'air s'accroît exactement dans la même proportion densité s'accroît, et *vice versâ*.

›ropriétés de l'air qui permettent de le comprimer › petit espace, ou de le laisser s'épandre dans un es- ›us grand, entrent pour beaucoup dans l'explication ›ariété infinie de phénomènes atmosphériques qui nous ›t journellement; elles ont, de plus, suggéré la cons- › de quelques-uns des instrumens les plus utiles que ›ce ait appliqués aux arts. Nous allons en décrire ›s-uns.

Le *condensateur*.—C'est un instrument destiné à for- ›ns un certain espace, une plus grande quantité d'air ›n contiendrait cet espace sous la pression ordinaire ›mosphère.

›g. 233 présente une coupe de cet instrument. EF est ›ndre creux; A une masse solide métallique, circulaire, ›plit exactement la surface intérieure du cylindre, et y mouvoir librement.

›ond du cylindre communique avec le réservoir D, dans on veut comprimer l'air. Sous la petite ouverture C, ›uelle ce tube communique avec le réservoir, est fixé, ›t, un morceau de soie huilée, s'étendant beaucoup au- ›s *bords de l'ouverture*. Ce morceau de soie s'appelle

excèdera l'élasticité de l'air en D: la sou
verture C sera donc pressée inégalement
sous et cèdera en s'ouvrant, de manière
du cylindre arrivera par cette voie dans

Pendant que l'air passe ainsi libreme
le réservoir par l'ouverture C, observo
chapper par B. La force élastique de l'a
piston, au lieu de soulever l'obstacle o
qui couvre B, ne fait que tendre la soie
contre la surface inférieure du piston et l
hermétiquement l'ouverture. Il s'ensuit q
a *achevé* sa descente, tout l'air contenu
forcé de passer dans le réservoir. Quan
si la soupape C restait ouverte et celle B
étant de nouveau diminuée, ainsi qu'ell
air, à raison des propriétés que nous lui a
329), se répandrait de nouveau dans l'
avant, retournant du réservoir dans le c
reviendraient dans l'état où elles se tro
piston eût été mis en mouvement. Mais
quand la pression sur le piston est un pe
suffit plus pour résister au pouvoir expa
dans le réservoir; la pression sur la sou
gale, mais celle de *dessous*, au lieu d

e l'atmosphère hors du condensateur. La soupape B c alors pressée *vers le bas* avec plus de force qu'elle ressée *vers le haut*. Elle se détache donc de l'ouver- t l'air du *dehors* s'introduit par là dans le cylindre, et : ainsi l'ascension du piston.

ud le piston a été remonté à son point le plus haut, et cylindre en dessous a été rempli d'air, l'opération re répétée; ainsi des volumes successifs d'air, égaux au contenu du cylindre, peuvent être comprimés dans rvoir; la densité de cet air comprimé s'y accroît conti- nent, et par suite son *élasticité* (art. 330).

. *La jauge.* — A B D (*fig.* 234) est un tube recourbé, ın robinet en A, et communiquant par la branche A intérieur du réservoir. Une petite quantité de mercure ntenue dans la partie B C F du tube B C D. Le ro- A étant ouvert avant la condensation, les surfaces B estent au même niveau et le conservent après que le t est fermé, aussi long-temps que la densité, et par quent l'élasticité de l'air dans le réservoir est la même lle de l'air extérieur, ou que celle de la branche C D, t la même que celle de l'atmosphère. Mais aussitôt que u réservoir devient plus dense, et par conséquent plus ue (art. 330) que celui en F D, l'égalité des pressions s deux surfaces B et F se trouve détruite; la surface nonte, jusqu'à ce que l'élasticité *augmentée* de l'air *comprimé* dans l'espace F D, jointe au poids de cette n de la colonne C F qui est au-dessus du niveau de B, la force élastique de l'air en A B, ou dans le réservoir. servant la hauteur à laquelle la surface F arrive ainsi, ut aisément calculer quelle est l'élasticité de l'air con- . Ainsi quand F arrive à une hauteur telle que l'air rimé au-dessus de lui n'occupe que moitié de l'es- primitif, on voit que son élasticité a été doublée, et e doit, par conséquent, être devenue égale au poids colonne de mercure double de la hauteur du baro- ı; et déduisant de cette hauteur la différence entre les ux de B et de F (qui est deux fois l'élévation de la der- surface, ou la dépression de la première), on voit que ıte est la hauteur d'une colonne de mercure dont le poids la pression en B, ou l'élasticité de l'air dans le ré- ir.

La j[illegible] peut être graduée de manière que ces résultats soient v[illegible]s à la seule inspection.

333. [illegible]sil à vent. — C'est une machine qui, ainsi que l'indique [illegible] nom, lance des balles au moyen de l'air condensé. On [illegible]struit un fort réservoir sphérique qui se visse soit à la c[illegible]se du fusil, soit à l'extrémité d'une pompe de condensati[illegible]. Par l'action de cette pompe, on condense un grand volu[illegible]e d'air dans le réservoir, qu'on fixe ensuite à la culasse du f[illegible]il. Le canon du fusil communique dès-lors à volonté avec le réservoir, au moyen d'une détente qui ouvre la soupape, et l'air s'échappe avec assez de force pour chasser violemment [illegible] qui s'oppose à sa sortie. Au moyen d'un mécanis[illegible]e, un nouveau projectile est introduit de nouve[illegible] coup peut être répété, et ainsi de suite, jus[illegible]t du réservoir.

La force d'imp[illegible]mment d'autres limites que le degré de la co[illegible]n peut obtenir, et la force du réservoir. La [illegible]forte du réservoir est celle sphérique, qui, sous un [illegible]nné, est contenue avec le moins de surface possibl[illegible]

334. *Pompe d'épuisemen[illegible]* Si les soupapes E et C, décrites pour le condensateur, *ouvrant vers le bas* et *fermant vers le haut*, sont disposées de manière à *fermer* vers le bas et à *ouvrir* vers le haut, comme on le voit (*fig.* 255); la machine, au lieu d'être une pompe à *condenser*, devient une pompe à *épuiser*.

Son action se comprend de suite. Supposons que le piston soit au fond du cylindre, et levons-le; l'air en dessous fera *expansion*; son élasticité sera diminuée ainsi et rendue moindre que celle de l'air extérieur. La pression sur la soupape E *du dehors* sera alors rendue plus grande que celle *du dedans*; elle se fermera donc et empêchera l'air d'entrer par l'ouverture qu'elle recouvre. L'air dans le cylindre étant de nouveau rendu plus rare que dans le réservoir A, la pression sur la soupape C de dessous excédera celle de dessus, et la soupape s'ouvrira; l'air du réservoir passant dans le cylindre et s'y *répandant*. Quand le piston a *achevé* de monter, l'air en A s'est épandu dans tout l'intérieur du cylindre et du réservoir à la fois. Ainsi, en supposant que le cylindre et le réservoir soient égaux, l'élasticité et la densité de l'air auront [illegible]ué de moitié.

Supposons maintenant que le piston redescende. Aussitôt
que l'espace en dessous de lui, dans le cylindre, est diminué,
l'élasticité de l'air contenu s'y accroît, et y excède celle de
l'air du réservoir; la soupape C se trouve donc pressée vers
le bas avec une plus grande force qu'elle n'est pressée vers
le haut, et par conséquent elle se ferme, tandis que l'air s'y
trouve en expansion ou dans l'état raréfié, auquel il avait
été amené à l'instant où le piston était à sa plus grande hau-
teur. A mesure que le piston continue de descendre, l'air qui
se trouve en dessous se comprime de plus en plus, jusqu'à
ce qu'il se condense à la même densité et par conséquent avec la
même élasticité que l'air extérieur. Quand cela arrive, la sou-
pape E est également pressée du dedans et du dehors; mais,
comme la condensation continue, par la descente ultérieure du
piston, cette égalité cesse, et la pression de dessous excède
celle de dessus; la soupape s'ouvre, l'air s'échappe, et le
piston descend librement jusqu'au fond du cylindre; l'opé-
ration de l'épuisement peut être répétée par une nouvelle as-
cension du piston, et l'on peut ainsi *théoriquement* continuer
la raréfaction de l'air dans le réservoir, sans limite. Mais,
dans *la pratique*, il se trouve une limite opposée à cet épui-
sement continuel, par le poids des soupapes.

355. Il est clair que pour lever chaque soupape, la pres-
sion de dessous doit excéder celle de dessus d'une quantité
plus grande que le poids de la soupape. Or quand l'épuise-
ment a été poussé très-loin, il *peut* devenir, et il *devient*, dans
la pratique, impossible d'amener le piston assez complètement
en contact avec le fond du cylindre pour que l'élasticité de l'air
en dessous de lui soit, par ce moyen, plus grande que celle
de l'air *extérieur*, ou du moins égale.

Il y a une source semblable d'erreur provenant du poids
de la soupape C.

Si donc les soupapes n'avaient *aucun poids* du tout, il n'y
aurait pas de limites à l'épuisement, et la limite est d'autant
plus reculée que le poids est moindre.

Le grand point à atteindre dans la construction d'une
pompe d'épuisement est donc, ainsi qu'on le voit d'après ce
qui précède, que les poids des soupapes soient aussi légers
que possible, et que, lorsque le piston est à son point le *plus*
bas, l'espace qui peut être occupé par l'air en dessous soit
le moindre possible.

l'ascension de P un vide sera produit dans le cylindre au-dessous; la soupape V étant fermée par la pression de l'air extérieur. Quand P a passé l'ouverture O, l'air du réservoir communique avec ce vide. Il se répand ainsi sur le cylindre B, *en plus* de l'espace qu'il occupait avant. Le piston P', pendant ce temps, a été forcé de descendre jusqu'au fond du cylindre B', dans lequel il se meut. Supposons maintenant que l'on tourne la roue en sens inverse; l'opération d'épuisement alors se fera par le piston P', ainsi qu'elle s'était faite par le piston P; et en continuant à tourner ainsi la roue alternativement en avant et en arrière, l'épuisement continuera jusqu'à ce que tou l'air raréfié, contenu dans chaque cylindre, étant, quand le piston arrive à son fond, condensé dans le petit espace entre le fond du piston, le fond du cylindre et la surface de la soupape, n'ait plus assez d'élasticité pour ouvrir la soupape ou surpasser la pression de l'air extérieur, quoique la tendance de l'élasticité à surmonter cette pression, y soit accrue par le poids de la soupape.

La *fig.* 238 donne la *perspective* de la machine pneumatique ainsi construite, et en représente *toutes* les parties.

HL est la jauge; c'est un simple tube de verre dont l'extrémité supérieure communique avec le réservoir, et dont l'extrémité inférieure plonge dans une cuvette de mercure. Quand l'air est raréfié dans le réservoir, sa force élastique étant diminuée, la partie de la surface du mercure de la cuvette qui est *dans* le tube, supporte une moindre pression que celle qui est en *dehors*. L'équilibre est donc détruit (art. 254), et le mercure monte dans le tube jusqu'à ce que l'égalité voulue de pression soit rétablie; le poids de la colonne soulevée de mercure et la pression élastique de l'air au-dessus d'elle égalant maintenant la pression de l'air en dehors, c'est-à-dire égalant le poids de la colonne barométrique. Il s'ensuit, dès lors, que si l'on diminue la hauteur de la colonne barométrique de la hauteur du mercure soulevé dans le tube, le reste sera la hauteur de la colonne de mercure qui serait soutenue par l'élasticité de l'air du réservoir.

Expériences avec la machine pneumatique. — L'état [illegible] existe chacune des choses qui nous environnent [illegible] dont chaque action se passe, sont plus [illegible] par le fait de notre immersion constante [illegible] Pour vous en assurer, il suffit de retirer

ɪr de manière à faciliter et à étendre ses applications à
ets scientifiques.

remier lieu, l'épuisement peut être rendu plus ra-
r l'usage de deux cylindres au lieu d'un. D'abord on
nner le mouvement au piston, de manière à ce que
que l'on applique, le soit avec son plus grand avan-
canique; et ensuite on peut produire l'épuisement dans
rvoir susceptible de se mouvoir, de manière que l'ap-
le toute expérience qu'on désire faire dans le vide,
acilement introduit par-dessous.

g. 237 représente le corps d'une pompe à air qui
toutes ces propriétés, et qu'on appelle *machine pneu-*
e.

B et B' sont deux cylindres dont les sommets sont
à l'exception de l'ouverture dans laquelle se meu-
verges des pistons F E et F' E dans des colliers qui
ent pas passer d'air.

P' sont des pistons solides, mobiles dans ces cylindres,
squels ils sont ajustés très-exactement, de manière à ne
passer d'air nulle part. Les verges de ces pistons sont
es par des crics E F et E' F', qui sont appliqués de
côté de la circonférence d'une roue dentée W, mobile
d'une manivelle H W. Aux fonds des cylindres sont
tes ouvertures closes par des soupapes V et V' qui
nt vers le bas. Près de leurs extrémités supérieures,
mmuniquent par des orifices O et O', sur leurs côtés,
système de tube T T T' formant communication avec
rvoir R. Ce réservoir est de verre ordinairement; sa
est cylindrique, avec une calotte se terminant en
et qui sert à le manier. Sa partie inférieure est ouverte
ière à former une espèce de bouche dont les bords sont
ement dressés, bien adoucis et dans le même plan. Ce
ir repose sur une plaque horizontale de bronze SS',
surface est également dressée avec le plus grand soin.
ords du réservoir et la surface de la plaque sont bien
et parfaitement unis, de manière à ne faire qu'un
même plan d'ajustage, leur contact sera hermétique.
titude du contact peut s'accroître en graissant de suif
ds du réservoir.

précautions étant prises, supposons que l'on tourne la
un des pistons P montera et l'autre descendra. Par

par-dessus ; alors, en faisant marcher la machine pour ge-
rer le vide aussi bien en dehors qu'en dedans des deux hé-
misphères, elles se sépareront d'elles-mêmes.

341. Non-seulement l'air est un fluide pesant, mais c'est
un fluide élastique qui tend constamment à s'épandre et à s'é-
chapper, par conséquent, de tout vase qui le renferme. Nous
ne nous apercevons ni de cette tendance, ni d'aucun de ses
effets, parce que la pression extérieure de l'air sur le vais-
seau est justement égale à cette tendance élastique de l'ai
contenu, et la neutralise. Pour s'assurer de ce fait, on n'
qu'à prendre une fiole qui ne contienne que de l'air, et l
boucher hermétiquement ... nt le bouchon par un fil de f
ou autrement, et placer ... fiole d'air sous le récipient d
la machine ; tant qu'elle ... uve entourée par l'air dans l
récipient, la tendance à b... les parois de verre ne s'ape
çoit pas ; mais dès que ... le a lieu, la fiole se brise
morceaux.

Une prodigieuse variété ... xpériences d'un grand intér
peuvent se faire avec la machine pneumatique. On les tro
vera dans les *Manuels de Physique et de Chimie* qui font pa
tie de cette collection.

342. *Pompe aspirante.* — La *fig.* 240 représente la co
d'une pompe aspirante ordinaire.

A B D est un cylindre appelé le corps de pompe, dans l
quel un piston A est mobile à l'aide d'une verge A L qui
lie en dessus avec l'extrémité d'un levier formant la man
velle de la pompe. Dans le piston est une soupape s'ouvra
vers le haut comme dans la pompe d'épuisement, avec l
quelle tout l'appareil ressemble beaucoup tant pour la for
que pour le principe. E est une seconde soupape fermant
fond du corps et s'ouvrant vers *le haut*. Du fond du cor
un tube E D, appelé tube d'aspiration, va dans le puits
dans le réservoir dont on veut élever l'eau.

Supposons que le corps et le tube ne contiennent que
l'air et mettons en mouvement le piston A. Il est évident
d'après le principe de la pompe d'épuisement, une parti
l'air, à chaque coup de piston, sera épuisée du tube
L'élasticité de l'air sur cette partie de l'eau du puits q
dans le tube, deviendra moindre alors qu'en *dehors*.
quilibre qui exige que la pression sur le même plan hor

la même, sera donc détruit, et l'eau montera dans le
usqu'à ce que son poids et l'accroissement de l'élas-
e l'air au-dessus, réduit maintenant à un moindre
rétablissent l'égalité de pression dans le même plan,
te enfin en quelque point P du tube d'aspiration. Un
oup de piston produira un nouvel épuisement, et
de nouveau l'égalité de pression sur des parties
lu plan MDN, en dedans et en dehors du tube; il
ltera une plus grande élévation de l'eau dans le tube,
qu'enfin elle soit amenée au sommet du tube et qu'elle
ans le corps de pompe.

a maintenant ici une nouvelle opération de la pompe;
scente du piston, la soupape E se ferme, et le fluide
nu dans le corps au-dessous, occupant une partie
ace AE, jusqu'à ce que le piston continuant de des-
il soit enfin plongé dans le fluide, et ce dernier forcé
ser par la soupape. Il occupe maintenant une partie
s de pompe *au-dessus* du piston. Par la prochaine as-
du piston, il s'élevera jusqu'au niveau du tuyau P de
ge; l'espace au-dessous du piston se remplissant con-
ment d'eau à mesure qu'il monte, et cette eau passant
face supérieure, quand il redescend, pour passer dans
u de décharge, comme avant.

vide parfait était formé par l'action du piston au-des-
la surface de l'eau, dans le tube d'aspiration, elle ne
it s'élever jusqu'à son sommet, et par suite dans le
si le tube avait plus de 34 *fect* (10 m. 462) de long.
st elle est élevée par la pression de l'air sur la sur-
l'eau dans le puits, et cette pression, dans nos
ne supporte qu'une colonne de mercure de 30 *inches*
ntim.) de haut; or une telle colonne est égale en
à celle de 34 *fect* (10 mètres d'eau).

s le piston et le corps de pompe, quelque bien qu'ils
construits, ne produisent jamais un vide parfait; et
dans une pompe, ne peut guère dès-lors s'élever qu'à
t (9 m. environ).

nd on veut l'élever d'une plus grande profondeur,
e dans les mines, on se sert d'une série de pompes;
ne décharge dans un réservoir où la prend un nouveau
d'aspiration.

. *Pompe levante.* (*fig.* 241). — AB représente un cy-

à travers la soupape B, dans le tuyau C. … piston descend, la résistance de l'eau sur sa … ferme sa soupape, et l'eau vient au-dessus … supérieure du cylindre, tandis que le retour … inférieure CB est empêchée, parce qu'il fer… B. Une nouvelle ascension du piston renouve… circonstances.

La force nécessaire pour mouvoir le pist… art. 233) égale au poids d'une colonne … même aire, s'élevant à la hauteur où elle a…

344. *Pompe foulante.* — Cette pompe … combinaison des pompes d'aspiration et l… l'eau d'un réservoir au-dessous de son ni… principe de la pompe d'épuisement ou de … l'élève au-dessus de ce niveau, d'après l… pompe levante.

BF est un tube d'aspiration passant dans … l'eau doit s'élever. AB est un cylindre ve… joue un piston solide A. Entre ce cylindre … piration est une soupape B, s'ouvrant vers … du cylindre passe un tuyau d'embranchemen… l'eau doit être forcée de s'élever à un niveau … contient la soupape C.

dans lequel il est renfermé, une densité et par consé-
t une élasticité plus grande que celle de l'air extérieur,
upape C se lève, une partie de l'air est chassée, et la
elle ascension produira encore une plus grande raréfac-
le l'air, et par suite une plus grande ascension de l'eau
le tube d'aspiration, jusqu'à ce qu'enfin il trouve à s'é-
ver par la soupape B dans l'espace CDB. Quand une
cela a lieu, la *descente* du piston refoule l'eau du cylin-
AB dans le tube CD, et chaque nouvelle ascension
e plus d'eau dans le cylindre, qui, chaque fois, est re-
dans le tube CD, à travers la soupape, et qui arrive
au niveau où se termine le tube refoulant.
n'est qu'à la *descente* du piston que l'eau monte dans
e refoulant, et par conséquent son cours est *intermittent.*
5. Il existe une disposition ingénieuse qui rend le cours
au *continu*, quoique ce ne soit pas toujours avec
me force. L'arrangement du tube d'aspiration, du cylin-
piston, etc., est précisément le même ; mais la branche du
refoulant CK communique immédiatement avec un ré-
ir fermé hermétiquement, au sommet duquel est inséré
au où l'eau doit définitivement s'élever, et qui est près
nd du réservoir. L'eau étant forcée, par l'action de la
e, dans le réservoir, comprime l'air dans l'espace au-
s de la surface et le rend ainsi plus élastique que l'air
ieur. Dès-lors la pression sur cette partie de la surface
uide qui est *dans* le tuyau, devient moindre que celle
égale portion en *dehors*. L'équilibre est donc détruit
254), et l'eau monte dans le tube. Plus on force d'eau
le réservoir, plus l'air s'y trouve comprimé, et plus il
t par son élasticité pour élever l'eau dans le tube. Main-
nt l'air comprimé dans le réservoir tend à faire *conti-*
tement expansion, et non pas seulement au moment où
nouvelle compression a lieu par l'entrée de l'eau dans le
voir ; donc l'eau passe *continuellement* dans le tube fou-
C'est sur ce principe qu'est construite la *pompe à feu*,
achine à vapeur.
6. *Pompe à feu.* — Cette machine dont on voit une
e (*fig.* 243), se compose de deux pompes foulantes AD,
dont les pistons A, B, jouent alternativement par la
ale du même levier, aux extrémités duquel sont attachées
tiges. Ces pompes foulantes communiquent avec le même

réservoir d'air H, à partir duquel s'élève un tube vertical IK, terminé par un tube flexible de plomb, ou chausse, comme on l'appelle.

Par l'intervention de ce tube, l'eau est forcée dans le réservoir à air par les pompes, et continuellement pressée de là dans le tube par l'élasticité de l'air qui s'y comprime au-dessus, pour être envoyée ensuite partout où l'on veut, à une distance considérable, et au-dessus de son niveau.

La grande objection contre l'usage du réservoir à air, est qu'à raison de la grande force avec laquelle l'air est comprimé au-dessus de l'eau, il s'y *absorbe* par degrés, en sorte que l'air, par degrés, sort d[illegible]rvoir avec l'eau, et que le réservoir n'est pl[illegible] *rempli* [illegible] l'eau.

347. Une pom[illegible], construite par le docteur *Lardner*, donne [illegible], sans réservoir à air, et par conséquent [illegible] objection que nous venons de rapporter.

Le piston solide A (*fig.* 244) [illegible]ue dans un cylindre qui communique avec un système de [illegible]be, tel qu'on le voit dans la figure. D est le tube d'aspiration, et C le tube foulant. Il y a des soupapes en P, Q, R, S, ouvrant comme l'indique la figure. Supposons le tout rempli d'eau et le piston dans sa *descente*; en *dessous de lui* la pression sera diminuée, et en dessus elle sera augmentée; les soupapes en S et en Q se fermeront donc, et les soupapes en P et en R s'ouvriront. La pression atmosphérique fera monter l'eau dans le tube aspirant, et, par la soupape P, dans le cylindre au-dessous du piston; tandis que l'eau au-dessus du piston sera *forcée*, en même temps, de passer par la soupape R en dessus dans le tube C.

A la descente du piston, les soupapes R et P se fermeront, pendant que celles S et Q s'ouvriront. La tendance du piston à produire un vide au-dessus de lui, fera encore comme avant, monter l'eau dans le tube aspirant, et sa direction ne sera plus à travers la soupape S, mais en dessus du tube DS, suivant SB, puis dans le cylindre au-dessus du piston. L'eau sous le piston sera chassée vers le bas et le long du canal QR, puis, par suite, dans le tube foulant. Ainsi la pompe, au même instant et à chaque instant, agit comme aspirante et foulante, et l'eau en sort par un jet *continu* *toujours* de la même force. C'est un très-beau mécanisme

APPENDICE.

remières propositions de cet appendice contiennent onstration mathématique des principes suivans de e : — 1. Le parallélogramme des forces. — 2. L'é- des momens. — 3. La théorie des forces paral-

incipe du parallélogramme des forces est celui sur ous avons fait reposer, dans notre ouvrage, toute la le la statique. C'est bien réellement sa base légitime, parce qu'il établit cette relation des forces *inégales* nécessaire à leur équilibre dans le cas le plus simple libre de forces inégales est possible, c'est-à-dire celui forces agissant sur un point.

incipe du parallélogramme des forces le démontre *par expérience.* Nous n'avons donc trouvé aucune à le poser comme un *premier principe* dans la re- des conditions générales d'équilibre que nous vou- bir en nous appuyant *sur l'expérience.*

le cas est différent quant à la recherche théorique des s de la science de la statique.

cherche directe du principe du parallélogramme des d'après les données mathématiques, offre des diffi- qui, sans doute, eussent rebuté, dès d'abord, le nd nombre des lecteurs à qui cet ouvrage est spécia- destiné, et auxquels d'ailleurs quelques connaissances *cipes mathématiques* de la statique seraient de la plus importance pour la pratique.

ces circonstances, nous avons jugé convenable de ne mencer les recherches mathématiques de cet appen- r la théorie de la statique, par la démonstration du ogramme des forces, mais d'arriver à cette démons- à l'aide de celle de l'équilibre de trois forces paral- issant sur un corps rigide, en un point quelconque, même plan ; cas d'équilibre qui, dans l'ordre mathé- , devrait dépendre du parallélogramme des forces.

PROPOSITION 1. — *La résultante de deux forces parallèles agissant sur un corps rigide, passe par un point d'entr'elles autour duquel leurs momens sont égaux.*

Soient (*fig.* 243) P et P' deux forces parallèles agissant sur les points P et P' d'un corps rigide. La position de la résultante des forces P et P', par rapport à l'une d'elles est évidemment la même, en quelque direction que ces forces soient appliquées, pourvu qu'elles restent à la même distance et qu'elles soient toujours parallèles l'une à l'autre. Supposons-les donc disposées suivant une direction *verticale* : menons une ligne MM' perpendiculaire à leurs directions et les rencontrant l'une en M et l'autre en M'.

Or les forces P et P' produisent le même effet que si elles étaient appliquées en M et M' (art. 3) ; supposons-les donc appliquées en ces points.

Quelles que soient les forces P et P', on peut encore prendre deux *poids* qui leur soient *équivalens*. Prenons ces deux poids et façonnons-les en deux verges *uniformes*, AB et BC, de même épaisseur partout exactement, et de telles longueurs qu'étant suspendues en M et M' de leurs milieux leurs extrémités adjacentes se *rencontrent* en B. Les verges AB et BC étant suspendues par leurs *points milieux*, seront évidemment suspendues dans une position *horizontale* car il n'y a pas de raison pour qu'elles inclinent plus d'un côté que de l'autre. La *ligne* ABC est donc une ligne *droite* horizontale.

Or nous avons vu (art. 158) que, quelles que soient les conditions d'équilibre d'un système rigide et continu, les mêmes conditions subsistent pour l'équilibre du même système quand sa forme lui permet de varier ; mais alors avec d'autres conditions de plus, provenant de la nature de la variation à laquelle il est soumis, et *réciproquement*.

Il s'ensuit que, quelles que soient les conditions d'équilibre qui existent entre les deux verges AB et BC, quand elles sont jointes en B, de manière à former une verge continue, ces conditions subsistent quand les verges sont séparées.

Or si AB et BC forment une verge continue, la *résultante* de leurs poids passera évidemment au point milieu *R* de cette verge, puisque cette verge balancerait sur s

point milieu. Il s'ensuit dès-lors, aussi, que lorsque les de verges sont *séparées*, la résultante de leur poids passe toujoi par le point R qui coupe en deux également la ligne A C

Or si l'on divise le poids de A B par le nombre de unités de longueur, nous aurons le poids de chacune de unités; mais le poids de AB est égal à la force P, donc

$\frac{P}{AB}$ = poids de chaque unité de AB; et de même

$\frac{P'}{BC}$ = poids de chaque unité de BC.

Les verges étant toutes deux de même épaisseur, chaq unité de l'une a le même poids que chaque unité de l'aut donc

$$\frac{P}{AB}=\frac{P'}{BC},\ \text{d'où}\ P\times BC=P'\times AB.$$

Or $RC = \frac{1}{2}AC$ et $MM' = \frac{1}{2}AC$, et par con quent $RC = MM'$.

Otant RM' de chaque côté, on a

$$MR = M'C = \frac{1}{2}BC;$$

Et de même $RA = MM'$; d'où, supprimant de cha côté RM qui est commun, on tire

$M'R = AM = \frac{1}{2}AB$ ou $2MR = BC$, et 2 M $= AB$;

Et par suite

$$P\times 2MR = P'\times 2M'R;$$

d'où $P\times MR = P'\times M'R$.

C'est-à-dire que le point R par lequel passe la rés tante des deux forces P et P', est tel que les momen ces forces autour de ce point sont égaux (art. 45).

Cette démonstration s'applique à tout cas possible de l parallèles.

Proposition 2. — *La résultante de deux forces dont les directions sont obliques l'une à l'autre, passe par un point d'entr'elles autour duquel leurs momens sont égaux.*

Soient P et Q (fig. 246) les deux forces agissant obliquement dans le même plan. Leur résultante R passera par le point S autour duquel leurs momens seront égaux.

Par le point S menons des perpendiculaires SN et SM sur les directions de P et de Q, et prenons sur le prolongement de la droite SM, SN' égale à SN. En N' appliquons les forces Q et Q'', en directions opposées, perpendiculaires à SN' et égales l'une à l'autre. Ces forces égales et opposées ne changeront pas les conditions de l'équilibre des forces P et Q, et la direction de leur résultante restera la même. (note de l'art. 35.)

Or les forces P, Q, R, Q', Q'', étant en équilibre, il est évident que la résultante de Q', Q'' et R passe par le même point que la résultante de P et de Q'. Mais la résultante de Q, Q'' et R passe évidemment en S. En effet, les forces Q et Q'' sont égales; leur résultante partage en deux parties égales l'angle qu'elles forment entre elles, mais une ligne coupant cet angle en deux parties égales passe par S; R passe aussi par S; donc la résultante de Q, Q'' et R passe par S.

Il suit de ce qui précède que la résultante des forces parallèles Q' et P passe par S; donc, en vertu de la proposition precédente, $P \times SM = Q' \times SN'$;

$$\text{mais } Q' = Q \text{ et } SN' = SN;$$

$$\text{donc } P \times SM = Q \times SN;$$

et par conséquent, les momens des forces P et Q autour de S sont égaux.

Proposition 3. — *Si dans la direction de la résultante de deux forces, P et Q agissant sur un point R, on prend un point S, et que l'on complète le parallélogramme PRQS, dont RS est la diagonale, alors PR et QR sont l'un à l'autre dans le même rapport que les forces P et Q.* (fig.

En effet le triangle SPR égale le triangle SQR,

$$PR \times SM = QR \times SN;$$



lais, d'après la proposition précédente,

$$P \times SM = Q \times SN;$$

t divisant ces équations, il en résulte

$$\frac{PR}{P} = \frac{QR}{Q}; \text{ d'où } \frac{P}{Q} = \frac{PR}{QR};$$

'est-à-dire que PR et QR sont en raison des forces P et Q.

Proposition 4. — *La réciproque a lieu évidemment; 'est-à-dire que si PR et QR (fig. 247) sont prises en raiso des forces P et Q, et qu'un parallélogramme PSQR oit achevé, alors la diagonale SR sera dans la direction e la résultante des forces P et Q.*

Proposition 5. — *La résultante de P et Q est reprécntée non-seulement en direction, mais encore en grandeur, ar SR. (fig. 248.)*

Achevons, en effet, le parallélogramme SRP'Q dont RQ st la diagonale, et SR un des côtés. Substituons à la force ', supposée agissant dans la direction RP, une autre force '' agissant en P'R. L'equilibre alors subsistera évidemment ans les mêmes circonstances qu'avant.

Ainsi les forces P' et Q, avec leur résultante R agissant ans la direction RS, sont en équilibre. Q par conséquent st la résultante de P' et de R. RQ est la diagonale du pallélogramme SRP'Q; donc, en vertu de la *prop.* 3, P'R t SR sont proportionnelles à P' et R; ou bien, en d'autres rmes, à quelque échelle que P' soit représentée en graneur par P'R, R sera représentée à cette même échelle par RS. lais P'R est égale à SQ, c'est-à-dire à PR; elle reprécnte donc P' en grandeur, à la même échelle que RP reprénte P. Donc à la même échelle où les forces P et Q sont eprésentées en grandeur par RP et RQ, R est représentée ar SR.

Lemme. Si d'un point quelconque, des lignes sont tirées ux extrémités des côtés adjacens et aux extrémités de la diaonale d'un parallélogramme, de manière à former trois riangles ayant les côtés adjacens et la diagonale respective-

ur leurs bases (1); le triangle ayant la diagon
a , sera égal à la somme ou à la différence d
f , suivant que le point sera *dans* les angles ve
par les côtés adjacens et prolongés du pa
gramme, ou *hors* de ces angles.

Soit PRQS (*fig.* 249) un parallélogramme quelconque, et O un
compris par PR et QR, que nous supposerons d'abord hors des a
ou leurs prolongemens. Joig
le point O aux points P, Q et S; alors

Triangle OSR = triangle OPR + triangle OQR.

Joignons OR, et menons L perpendiculaire à OR, e
M, QN, SL parallèles e à OR; alors on a

PR = QS, OM = L = OM + ON; d'où

½ OL × OR = ½ O

et OR = ½ ON × OR

triangle OSR = trian + triangle OQR.

Si le point O se tro
le prolongement de R l'un des angles formés par
même construction, on voit (*fig.* 250); en faisant

PS = RQ, ML = ON, LO = MO — ON; d'où

½ LO × OR = ½ MO × OR — ½ NO × OR; et

triangle OSR = triangle OPR — triangle OQR (2).

Par conséquent, en général, le triangle sur la diagonale
est égal à la somme ou à la difference des triangles sur les
côtés, suivant que le point est en dehors ou en dedans des an-
gles verticaux formés par les côtés prolongés de chaque côté.

Si PR et QR sont dans les directions de deux forces agis-
sant toutes deux vers R, ou à partir de R, il est évident
que, suivant que O se trouve en dehors ou en dedans des
angles PRQ et P'RQ', les deux forces tendent à faire tour-

(1) Ce lemme est vrai pour les triangles ayant pour bases des lignes
situées quelque part sur PR, QR et SR prolongées, et respective-
ment égales à ces lignes.

(2) La même démonstration s'appliquerait au cas dans lequel O se
angle compris par PR et QR prolongées vers P' et Q'.

le système dont elles forment partie, dans la même di-
on, ou en directions opposées, autour de Q.

ppliqué au parallélogramme des forces, ce lemme nous
ıe la propriété importante qui suit.

ROPOSITION 6. — *Deux forces composantes et leur ré-
inte étant représentées en grandeur et en direction par
lignes, et un point étant pris pour sommet des trois
ngles ayant ces trois lignes pour leurs bases; le triangle
t pour sa base la résultante, sera égal à la somme ou
différence des triangles ayant pour bases les forces com-
ntes, suivant que ces dernières agissent pour faire tour-
le système dans le même sens ou en sens inverse.*

ROPOSITION 7. — *L'aire de chacun des triangles ainsi
its (prop. 6) est égale à la moitié du moment de la force
forme sa base. Il s'ensuit alors que, dans le cas d'équi-
des trois forces, le moment de la résultante autour d'un
t quelconque est égal à la somme ou à la différence des
ens des composantes.*

ROPOSITION 8. — *Le moment de la résultante d'un
bre quelconque de forces agissant dans le même plan,
gal à la somme des momens des composantes; le point
ur duquel les momens sont comptés étant où l'on vou-
et les momens pris négativement pour les forces qui
ent à faire tourner le système dans un sens opposé à celui
endent à le faire tourner les autres.*

oient P, P_1, P_2. P_3, etc. (*fig.* 251), les forces du système,
) un point quelconque autour duquel les momens sont
urés. Soient R_1 la résultante de P et P_1, R_2 celle de R_1
e P_2, R_3 celle de R_2 et de P_3, R_4 celle de R_3 et P_4; alors,
ertu de la proposition précédente :

$$\text{Moment de } R_1 = \text{Mom. } P + \text{Mom. } P_1 \text{ (1).}$$
$$\text{Mom. } R_2 = \text{Mom. } R_1 + \text{Mom. } P_2.$$
$$\text{Mom. } R_3 = \text{Mom. } R_2 + \text{Mom. } P_3.$$
. . . .
$$\text{Mom. } R_n = \text{Mom. } R_{n-1} + P_n.$$

) On suppose que les momens de toutes les forces qui tendent à
tourner le système dans une direction opposée, sont pris négative-
t.

composantes.

Si les forces sont en équilibre, les
gère; la somme de leurs momens
quelque est donc zéro.

La démonstration de cette proposit
cas possibles de forces, dans le même
au cas des forces parallèles. Mais, da
tirée du point autour duquel les mo
perpendiculaire à toutes les forces

Ainsi (art. 42, fig. 25) la ligne
aux directions de toutes les forces P
que dans le cas des forces parallèles
point autour duquel les momens de
ligne perpendiculaire à l'une des for
obtient alors le moment de chaque fo
sa distance du point mesuré sur cett

Nous aurons aussi, en vertu de ce
la résultante de toutes les forces,
Mm_1 prolongée en un point que nou

$$R \times Mr = P_1 \times Mm_1 \ldots$$
$$P_2 \times Mm_2 - P_3 \times Mm \ldots$$

d'où

$$Mr = \frac{P_1 \times Mm_1 + P_2 \times Mm_2 + P_3 \times M \ldots}{R}$$

formule dans laquelle les momens

l'après la proposition précédente,

$$P \times SM = Q \times SN;$$

sant ces équations, il en résulte

$$\frac{PR}{P} = \frac{QR}{Q}; \text{ d'où } \frac{P}{Q} = \frac{PR}{QR};$$

lire que PR et QR sont en raison des forces P et Q.

POSITION 4. — *La réciproque a lieu évidemment; lire que si PR et QR (fig. 247) sont prises en rai- forces P et Q, et qu'un parallélogramme PSQR levé, alors la diagonale SR sera dans la direction sultante des forces P et Q.*

POSITION 5. — *La résultante de P et Q est repré- non-seulement en direction, mais encore en grandeur,* l. (*fig.* 248.)

vons, en effet, le parallélogramme SRP'Q dont RQ liagonale, et SR un des côtés. Substituons à la force posée agissant dans la direction RP, une autre force sant en P'R. L'equilibre alors subsistera évidemment s mêmes circonstances qu'avant.

i les forces P' et Q, avec leur résultante R agissant direction RS, sont en équilibre. Q par conséquent ésultante de P' et de R. RQ est la diagonale du pa- ;ramme SRP'Q; donc, en vertu de la *prop.* 3, P'R sont proportionnelles à P' et R; ou bien, en d'autres , à quelque échelle que P' soit représentée en gran- r P'R, R sera représentée à cette même échelle par RS. 'R est égale à SQ, c'est-à-dire à PR; elle repré- onc P' en grandeur, à la même échelle que RP repré- P. Donc à la même échelle où les forces P et Q sont ntées en grandeur par RP et RQ, R est représentée R.

me. Si d'un point quelconque, des lignes sont tirées trémités des côtés adjacens et aux extrémités de la dia- d'un parallelogramme, de manière à former trois es ayant les côtés adjacens et la diagonale respective-

ment pour leurs bases (1) ; le triangle ayant la diagonale po sa base, sera égal à la somme ou à la différence des de autres, suivant que le point sera *dans* les angles vertica formés par les côtés adjacens et prolongés du parallél gramme, ou *hors* de ces angles.

Soit PRQS (*fig.* 249) un parallélogramme, et O un po quelconque que nous supposerons d'abord hors des ang compris par PR et QR, ou leurs prolongemens. Joign le point O aux points P, Q et S; alors

Triangle OSR = triangle OPR + triangle OQR.

Joignons OR, et menons OL perpendiculaire à OR, e M, QN, SL parallèles chacune à OR; alors on a

PR = QS, OM = NL, OL = OM + ON; d'où

$\frac{1}{2}$ OL × OR = $\frac{1}{2}$ OM × OR = $\frac{1}{2}$ ON × O

et

triangle OSR = triangle OPR + triangle OQR.

Si le point O se trouvait *dans* l'un des angles formés le prolongement de RP et de RQ (*fig.* 250) ; en faisan même construction, on voit que

PS = RQ, ML = ON, LO = MO — ON; d'où

$\frac{1}{2}$ LO × OR = $\frac{1}{2}$ MO × OR — $\frac{1}{2}$ NO × OR; et

triangle OSR = triangle OPR — triangle OQR (2).

Par conséquent, en général, le triangle sur la diagon est égal à la somme ou à la différence des triangles sur côtés, suivant que le point est en dehors ou en dedans des gles verticaux formés par les côtés prolongés de chaque cô

Si PR et QR sont dans les directions de deux forces ag sant toutes deux vers R, ou à partir de R, il est évid que, suivant que O se trouve en dehors ou en dedans angles PRQ et P'RQ', les deux forces tendent à faire to

(1) Ce lemme est vrai pour les triangles ayant pour bases des lig [illegible] quelque part sur PR, QR et SR prolongées, et respecti [illegible] à ces lignes.

[illegible] s'appliquerait au cas dans lequel O [illegible] PR et QR prolongées vers P' et Q'.

le système dont elles forment partie, dans la même di-
:ion, ou en directions opposées, autour de Q.

Appliqué au parallélogramme des forces, ce lemme nous
ne la propriété importante qui suit.

PROPOSITION 6. — *Deux forces composantes et leur ré-
tante étant représentées en grandeur et en direction par
lignes, et un point étant pris pour sommet des trois
ngles ayant ces trois lignes pour leurs bases; le triangle
nt pour sa base la résultante, sera égal à la somme ou
différence des triangles ayant pour bases les forces com-
antes, suivant que ces dernières agissent pour faire tour-
le système dans le même sens ou en sens inverse.*

PROPOSITION 7. — *L'aire de chacun des triangles ainsi
rits* (*prop.* 6) *est égale à la moitié du moment de la force
forme sa base. Il s'ensuit alors que, dans le cas d'équi-
re des trois forces, le moment de la résultante autour d'un
nt quelconque est égal à la somme ou à la différence des
mens des composantes.*

PROPOSITION 8. — *Le moment de la résultante d'un
nbre quelconque de forces agissant dans le même plan,
égal à la somme des momens des composantes; le point
tour duquel les momens sont comptés étant où l'on vou-
, et les momens pris négativement pour les forces qui
dent à faire tourner le système dans un sens opposé à celui
tendent à le faire tourner les autres.*

Soient P, P_1, P_2, P_3, etc. (*fig.* 251), les forces du système,
O un point quelconque autour duquel les momens sont
surés. Soient R_1 la résultante de P et P_1, R_2 celle de R_1
de P_2, R_3 celle de R_2 et de P_3, R_4 celle de R_3 et P_4; alors,
vertu de la proposition précédente :

$$\text{Moment de } R_1 = \text{Mom. } P + \text{Mom. } P_1 \text{ (1).}$$
$$\text{Mom. } R_2 = \text{Mom. } R_1 + \text{Mom. } P_2.$$
$$\text{Mom. } R_3 = \text{Mom. } R_2 + \text{Mom. } P_3.$$

. . . .

$$\text{Mom. } R_n = \text{Mom. } R_{n-1} + P_n.$$

(1) On suppose que les momens de toutes les forces qui tendent à
re tourner le système dans une direction opposée, sont pris négative-
nt.

Si, au lieu d'un système composé de corps détachés dan[s] le même plan, on veut déterminer le centre de gravité d'u[n] corps pesant continu, dont toutes les parties sont dans l[e] même plan, on peut opérer de la manière suivante :

Prenons deux lignes $O x$ et $O y$ perpendiculaires l'une à l'a[u]tre (*fig.* 254), et divisons l'une d'elles $O x$ en parties égal[es] $m_1 m_2$, $m_2 m_3$, $m_3 m_4$. Menons les lignes $M_1 p_1$, $m_2 p$[...] etc., en divisant la figure en autant de parties distinctes [...] élémens $m_1 p_2$, $m_2 p_3$, etc. Alors si les lignes $M_1 M_2$, etc[.] sont très-petites $m_1 p_2$, $m_2 p_3$, etc., peuvent être considér[ées] comme ne différant pas d'un rectangle, d'une manière [ap]préciable ; chacune d'elles pourra être considérée comme ay[ant] son centre de gravité à son centre de hauteur.

Divisons en deux également $m_1 p_1$, $m_2 p_2$, etc., en g_1, g_2, e[tc.] et considérons ces points comme les centres respectifs de g[ra]vité des élémens. On peut donc supposer que les poids de[s] élémens sont rassemblés en ces points.

Or les masses et les poids des élémens sont représentés [par] les produits

$$\overline{m_1 m_2} \times \overline{P_1 m_1},\ \overline{m_2 m_3} \times \overline{P_2 m_2},\ \text{etc.}$$

Si donc les poids sont supposés agir perpendiculairemen[t à] $O x$, et que G soit le centre de gravité, on a

$$ON = \frac{\overline{m_1 m_2} . \overline{P_1 m_1} . \overline{O m_1} + \overline{m_2 m_3} . \overline{P_2 m_2} . \overline{O m_2}}{\overline{m_1 m_2} . \overline{P_1 m_1} + \overline{m_2 m_3} \overline{P_2 m_2} + \ldots}$$

ou puisque $m_1 m_2 = m_2 m_3 = m_3 m_4$ etc.

$$ON = \frac{\overline{P_1 m_1} . \overline{O m_1} + \overline{P_2 m_2} . \overline{O m_2} + \ldots}{P_1 m_1 + P_2 m_2 + \ldots}$$

et supposant que les poids des élémens agissent perpend[icu]lairement à $O y$,

$$ON' = \frac{\overline{m_1 m_2} . \overline{P_1 m_1} . \overline{O n_1} + \overline{m_2 m_3} . \overline{p_2 m_2} . \overline{O n_2}}{\overline{p_1 m_1} + \overline{m_2 m_3} . \overline{p_2 m_2} +}$$

i, en observant que

$$O n_1 = m_1 g_1 = \frac{1}{2} m_1 p_1$$
$$O n_2 = m_2 g_2 = \frac{1}{2} m_2 p_2$$

ue $m_1 m_2 = m_2 m_3 =$ etc.

$$N' = \frac{1}{2}\,\frac{\overline{p_1 m_1}^2 + \overline{p_2 m_2}^2 + \overline{p_3 m_3}^2 + \ldots}{p_1 m_1 + p_2 m_2 + p_3 m_3 + \ldots}$$

ette dernière formule fournit une règle-pratique facile pour ver le centre de gravité d'une *aire* de forme quelconque, qu'irrégulière qu'elle soit ; et il est facile de se la rappeler.

ivisons, comme ci-dessus, les élémens par des lignes distantes, appelées ordonnées, perpendiculaires à un axe né. Prenons la somme des carrés de ces ordonnées, et di-ns-la par leur somme. La moitié du quotient sera la dis-e du centre de gravité à partir de l'axe.

i l'on suppose maintenant que les forces agissent per-iculairement à quelqu'autre axe perpendiculaire au pre-r, la distance du centre de gravité, à partir de *cet* axe, t ainsi se trouver, et sa position effective se *déterminer* ą :

la direction de la résistance d'une surface. (note sur t. 78.)

eprésentons par *f* le coefficient du frottement, et soit I P' = θ (*fig.* 55) ; la force P M ou P est équivalente à et P' M.

or Q M = P M sin. θ

P' M = P M cos. θ

donc décomposées suivant les directions Q M et P' M, les de P sont : P sin. θ et P cos. θ.

Or le pouvoir de résistance produit par le frottement est l au produit du coefficient de frottement *f*, par la force pendiculaire en P' M. Il est donc égal à *f* P cos. θ . . . .

La force tendant à mouvoir le corps est la force suivant la

direction Q M et égale à P sin. θ. Conséquemment le corp se mouvra, ou ne se mouvra pas, suivant que

$$P \sin.\ \theta \left\{ \begin{array}{c} \text{est} \\ \text{ou n'est pas} \end{array} \right\} > f P \cos\ \theta;$$

ou suivant que

$$\text{tang.}\ \theta \left\{ \begin{array}{c} \text{est} \\ \text{ou n'est pas} \end{array} \right\} > f.$$

Soit F l'angle dont la tangente est f. Le corps se mouv donc, ou ne se mouvra pas [illegible] nt que

$$\text{tang.}\ \theta \left\{ \begin{array}{c} \\ \text{ou n[illegible] pas} \end{array} \right\} > \text{tang. F};$$

ou suivant que

$$\theta \left\{ \begin{array}{c} \\ \text{ou n'est pas} \end{array} \right\} > \text{F}$$

F est appelé l'angle limite de résistance, et par conséqu le corps restera en repos tant que la direction de P ne s pas inclinée, par rapport à la verticale, sous un angle p grand que F.

Le fait d'expérience que le frottement est toujours (p le même corps) la même fraction de la pression perpendi laire, quoiqu'une grande approximation de la véritable loi frottement ne peut pas être prise exactement pour form cette loi.

On voit par les expériences de M. *Rennie*, que le rapp du frottement à la pression perpendiculaire est un peu p grand pour les hautes que pour les basses pressions. C variation de la loi du frottement ne paraît d'ailleurs pas as considérable pour prendre place dans la discussion de question, tant que la pression n'excède pas une certaine mite. *Coulomb* a trouvé que pour les pressions variant 400 à 1300 kilogrammes, le coefficient de frottement chêne sur chêne variait seulement de $\frac{1}{2,36}$ à $\frac{1}{2,40}$

La véritable loi de frottement serait peut-être mieux

primée en considérant le coefficient de frottement, comme une fonction de la pression perpendiculaire, qui, étant développée, a, pour les coefficiens de ses termes, après le premier, d'excessivement petites quantités.

Le Plan incliné. (NOTE sur l'art. 80.)

Représentons par θ l'inclinaison de P Q à la verticale, et soit i égal à l'élévation du plan, F étant égal à l'angle limite de résistance. Alors quand la masse M est sur le point de glisser en *bas*, puisque l'angle que fait G c avec la perpendiculaire à A C (art. 80) est égal à l'angle F, et que l'angle que fait GH avec la perpendiculaire à A C est égal à i; l'angle cad qui est, dans ce cas, la différence de ces angles, est égal à i — F. De même, quand la masse M est sur le point de glisser *vers le haut* (*fig.* 58), l'angle cad est égal à i + F.

Donc, en général,

$$cad = (i \pm F).$$

Le double signe étant, pour les deux cas, où la masse est supposée sur le point soit de *descendre*, soit de *remonter* en glissant;

Or, dans le triangle $a\ b\ d$,

$$\frac{ab}{ad} = \frac{\sin.\ adb}{\sin.\ abd}$$

Et aussi $adb = cad = (i \pm F)$ $abd = \pi - cab = \pi - (i \pm F \times \theta)$; et comme ab et ad (art. 80) représentent les poids de M et de N,

$$\frac{N}{M} = \frac{\sin.\ (i \pm F)}{\sin.\ (i \pm F + \theta)}$$

$$N = M.\ \frac{\sin.\ (i \pm F)}{\sin.\ (i \pm F + \theta)}$$

Et aussi

$$\frac{db}{ad} = \frac{\sin.\ \theta.}{\sin.\ (i \pm F + \theta)}$$

Et ce [illegible] ab et ad représentent la résistance S et le poids M [illegible]

$$S = \frac{M \sin. \theta}{\sin. (i \pm F + \theta)}$$

Si l' [illegible] que la force N agisse dans une telle direction que la [illegible] force possible puisse faire mouvoir le corps, il est [illegible] que l'on doit prendre θ de manière que sin. $(i \pm F$ [illegible] soit le *plus grand* possible; ou, en d'autres termes, q [illegible] soit [illegible]

$$i \ [illegible] \ \frac{\pi}{2};$$

$$\text{ou } \theta = \frac{\pi}{2} \ [illegible] \pm F$$

Les deux états où M se [illegible] sur le point de glisser vers le haut, ou vers le bas, s [illegible] ses deux états voisins du mouvement.

Si l'on suppose que la dire[illegible]n de la résistance soit perpendiculaire à la surface du pl[illegible], comme dans le cas de l'essieu de roue (art. 83), il faut alors, dans les expressions pour N et S, faire F = 0, et l'on aura

$$N = \frac{M \sin. i}{\sin. (\theta + i)}$$

$$S = \frac{M. \sin. \theta}{\sin. (\theta + i)}$$

Si la force N agit dans une direction parallèle au plan

$$\theta = \frac{\pi}{2} - i \text{ et } \theta + i = \frac{\pi}{2};$$

D'où

$$N = M \sin. i \text{ et } S = M \sin. \theta$$

Le Coin.

monstration suivante de la théorie du coin sera
› mieux comprise que celle du texte (art. 87 et 89).
› servira d'ailleurs d'exemple et de vérification du
de *moindre pression.*

(*fig.* 255) la force agissant sur le dos du coin, et
résistances sur ses côtés. Par le principe de moin-
ion, Q et Q' doivent être le moins possible sujettes
ition que leur résultante soit P. Il est évident que
sfaire à cette condition, ces forces doivent avoir une
parallèle à la direction de P, ou du moins aussi
née que possible, par rapport à cette direction.

c les surfaces en contact en Q et Q' sont telles qu'elles
it des résistances à ces points *parallèlement* à P;
système sera un système de forces parallèles, et
Q et Q' seront situés semblablement par rapport
hacun supportant moitié de la force P. Mais si, à
la nature des surfaces en contact en Q et Q', elles
pables de faire résistance en directions parallèles
ors les directions de Q et de Q' seront celles que les
donneront le *plus près* de la direction P A.

mme on l'a vu (art. 72), il y a une certaine direc-
qu'entr'elle et la perpendiculaire à la surface à cha-
, si l'on applique une force quelconque, les surfa-
iront une résistance opposée à cette force; mais si la
appliquée plus loin de la perpendiculaire que cette
, alors il *n'y a plus* de résistance égale apportée par
ces dans une direction *opposée.* L'angle que cette di-
it avec la perpendiculaire est appelé *l'angle limite*
tance. Les résistances Q et Q' auront évidemment
ections inclinées à P A, sous les *moindres angles*
, quand elles sont effectivement dans les directions
, et font, chacune avec la perpendiculaire à son point
tion, un angle égal à l'angle limite de résistance.
ont alors, par le principe de moindre pression, les
s actuelles de pression en Q et Q'.

lérons maintenant quelles sont les conditions d'équi-

Si l'on suppose que les deux forces Q et Q' agissent à
distances de l'axe comme dans la poulie,

$$Q - Q' = \frac{\mp 2 Q' r \sin. F}{(a \pm r \sin. F)}$$

Dans ce qui précède nous avons supposé que les deux
tendant à faire tourner le système autour d'un axe re
toujours *parallèles* l'une à l'autre, et à distances per
culaires *a* et *a'* de l'axe. Si les forces ne restaient pas
lèles, comme dans le cas du *vindas*, du *cabestan*, etc
les formules que nous venons de donner ne seraient
applicables.

Dans le cas du vindas et du cabestan, l'effet des f
et Q (*fig.* 98) est le même que si elles agissaient sur
conférences de deux cercles concentriques AP et B
le centre commun est celui de l'axe C (*fig.* 256). Si l
pose qu'il n'y a pas de frottement, la résultante de
P et Q passera par C. CP et CR étant en rapport
des forces P et Q, CQ représentera P à la mém
à laquelle CP représente Q ; et ces lignes sont inclin
à l'autre précisément comme elles l'eussent été, si ell
perpendiculaires aux directions des forces qu'elles r
tent *respectivement ;* c'est-à-dire que si CQ était p
culaire à P et CP à Q. Il s'ensuit (note de l'art. 1
la résultante de P et de Q est représentée en grar
PQ. Pour déterminer la direction de la résultante
de Q, on n'a qu'à prolonger leurs directions jusq
elles se rencontrent et à joindre CR. La résultan
la fois par ces deux points C et B, et conséquemmen
la droite CR

Il est évident que la direction et la grandeur de
sultante varient suivant les positions relatives de P
Elle est *la plus grande* quand PC et QC sont dans
ligne droite, étant alors égale à leur somme et p
toutes les deux. Elle est *la plus petite* quand P es
ligne QR et coïncide avec P'. Dans ce cas elle e
sentée en grandeur par P' Q et égale à $\sqrt{Q^2 - 1}$

Si l'on prend en compte le frottement de l'axe, i
dent qu'il ne peut s'ensuivre de mouvement, à moi
résultante R *r* de P et de Q ne coupe la circonférence

point r, tel que l'angle qu'elle fait avec Cr excède l'angle de résistance.

tions de l'équilibre de roues dentées, en tenant compte du frottement des dents. (NOTE sur l'art. 124.)

ient t la longueur des dents sur chaque roue, et a, a', rayons des roues.

ignons les points C et C' avec Q. Quand le mouvement rêt à s'ensuivre — la roue dont le centre est en C mou- l'autre — l'angle que QM' fait avec la perpendiculaire Q est égal à l'angle limite de résistance F. Mais cet angle égal aussi à l'angle QC'M'. Par conséquent, le mouve- nt est sur le point d'avoir lieu, dans ces circonstances,

$$C'M' = (a' + t) \cos. F.$$

Les roues étant supposées en contact à leurs extrémités, longueurs des lignes CQ et C'Q sont respectivement

$$a + t \text{ et } a' + t;$$

$$CC' = a + a' + t.$$

Connaissant les trois côtés CQ, C'Q, et CC' du triangle C'Q, on peut trouver son angle CC'Q. Supposons-le rouvé et égal à G; l'angle

$$CC'M' = F - G$$

$$CM + C'M' = CC' \cos. CC'M'$$

$$CM + C'M' = (a + a' + t) \cos. (F - G);$$

$$= (a + a' + t) \cos. (F - G) - (a' + t) \cos. F;$$

$$CM = (a + a' + t) \cos. (F - G) \quad C'A' = b' \; CA = b.$$

Si, (art. 124),

$$P = b' \frac{(a + a' + t) \cos. (F - G) - (a' + t) \cos. F}{b\,(a' + t) \cos. F} W.$$

Cette formule donne le vrai rapport entre P et W dans les roues dentées, le frottement des roues étant pris en compte et celui sur les axes négligé. On peut la mettre sous la forme

$$P = \frac{b'}{b} \left\{ \left(1 + \frac{a}{a' + t}\right) \frac{\cos. (F - G)}{\cos. F} - 1 \right\} W.$$

$$= \frac{b'}{b} \left\{ \left(1 + \frac{a}{a' + t}\right) (\cos. G + \text{tang}. F \sin. G - 1 \right\}$$

Maintenant si les dents sont petites, comparées aux rayons des roues, G est excessivement petit, et cos. G peut être pris $= 1$. D'où l'on tire, en réduisant

$$P = \frac{b}{b(a'+t)} \left\{ a + (a + a' + t) \text{ sin. } G \text{ tang. } F \right\} W.$$

La Vis. (NOTE sur l'art. 132.)

On a vu dans une partie précédente de cet appendice, que les conditions de l'équilibre dans le coin, ou plan incliné mobile, sont

$$q = \frac{Q}{\text{sin. } (F + i)}$$

Dans lesquelles i est l'inclinaison du plan, q la résistance, et Q la force appliquée au dos du plan parallèle à sa base.

Or, dans la vis, Q (*fig.* 118) est fournie par l'action de la force P à l'extrémité d'un levier P L.

$$\text{Soit } P\,L = a,\ L\,N = B$$

$$P.\,a = Q.\,b.$$

$$q = \frac{P\,a}{b \text{ sin. } (F + i)}$$

NOTE sur l'art. 181

Les conditions de l'équilibre d'un système de corps en contact ont été complètement discutées dans un mémoire de l'auteur (*Camb. phil. soc.* octobre 1833), d'après les principes établis chap. XV; ainsi que ceux de la théorie de *l'arche* qui en dépendent et qui ont été *publiés* pour la première fois dans ce mémoire.

La théorie de l'arche présente un autre exemple du principe de moindre pression. Les pressions sur les surfaces des pieds droits et de la pierre de clef doivent, d'après ce principe, être chacune un minimum, sujet à cette condition, qu'il suffise pour supporter la demi-arche, si elle était formée d'un solide continu, et que la clef fût *horizontale*. Or le poids de la demi-arche étant donné, à mesure que la pression sur la clef diminue, celle sur le pied droit diminue aussi. La pression sur la clef tendant à supporter chaque demi-arche, résulte de la tendance de la demi-arche opposée à se mouvoir, et se trouve justement égale à cette tendance. Elle est donc égale à la moindre force que supporterait la demi-arche, [illegible]

bien, c'est un minimum sujet aux conditions, et par c
séquent la pression sur le pied-droit est un minimum au

NOTE sur l'art. 271.

Supposons toute la surface divisée en petites par représentées par P_1, P_2 P_3, etc., et leurs profondeurs $\overline{P_1 p_1}$, $\overline{P_2 p_2}$ .... alors la somme des produits de ces for par leurs profondeurs sera

$$\overline{P_1 p_1} \,.\, P_1 + \overline{P_2 p_2} \,.\, P_2 +$$

et appelant Gg la profondeur du centre de gravité, le p duit de cette profondeur par toute la surface sera

$$\overline{Gg} \,.\, \overline{P_1 + P_2 + P_3 + \ldots}$$

Mais, par la *prop.* 10 de cet appendice,

$$\overline{Gg} \,.\, \overline{P_1 + P_2 + P_3 +} . = \overline{P_1 p_1} \,.\, P_1 \times \overline{P_2 p_2}\, P_2,$$

qui est le principe du texte.

NOTE sur l'art. 296.

Soient PQ et P' Q' les positions du plan de flottais P L Q et P' L Q' étant les parties immergées correspond tes à ces positions.

Soit (*fig.* 257) g le centre de gravité de P L Q, et g' c de P' L Q'. Soit encore m le centre de gravité de PaP' m' celui de QaQ'. Joignons mm', et par g menons gh rallèle à mm'. Mom. de P' L Q' autour de gh = M Q a Q' + mom. QLP — mom. PaP. Or mom. de Q = o, puisque g est dans cette ligne, et

Mom. P' L Q' = mom. Q a Q' — mom. P a P'.

Les centres de gravité m et m' de PaP' et QaQ' équidistans de $g\,h$, et les volumes PaP' et QaQ' sont *ég* aussi l'un à l'autre, puisque PLQ est égale à P' L Q' s'ensuit dès-lors que les momens de ces volumes sont éga et par conséquent que le moment de P' L Q' autour de g égal à zéro. Le centre de gravité g' de P' L Q' est donc en

Or que l'angle fait par PQ et P' Q' vienne à dimi indéfiniment, les points g V g' se rapprocheront indé ment l'un de l'autre, et le plan dans lequel ils sont étant rallèle à $m\,m'$, sera enfin parallèle au plan P Q ou P' Mais ces plans sont horizontaux; le plan dans lequ trouvent g et g' est donc, dans sa dernière position, un horizontal. Ce plan est évidemment un plan tangent à la face dont parle le texte.

TABLE

PAR ORDRE ALPHABI

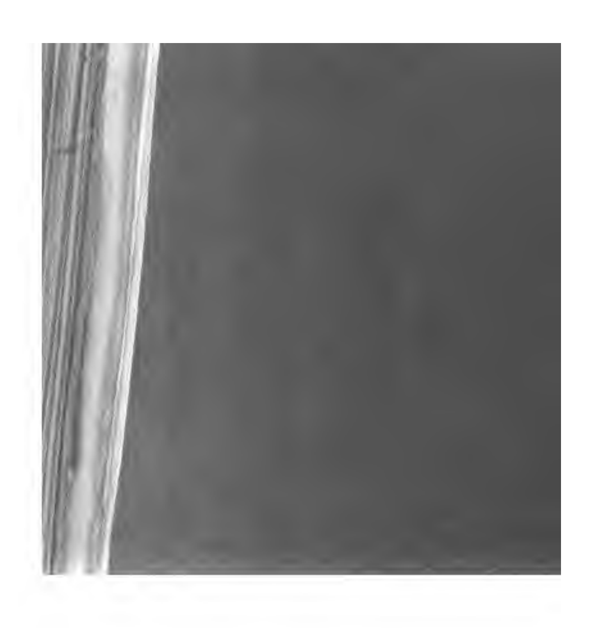
Articles.

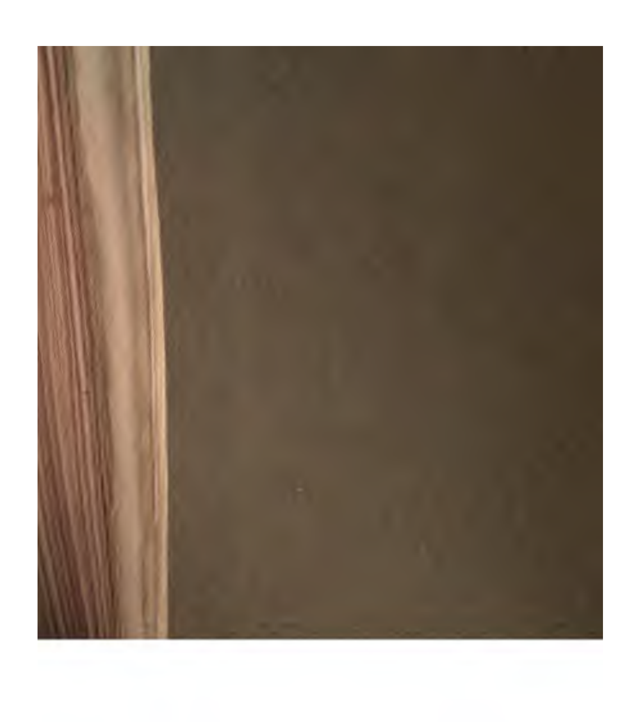
FIN.

BAR-SUR-SEINE. — Imp. de SAILLARD.



Guiguet del. et Sculp.






SEP 1 2 1934